А. А. ШУР



БЛИЖНИЙ И ДАЛЬНИЙ ПРИЕМ ТЕЛЕВИДЕНИЯ



МАССОВАЯ
РАДИО-
БИБЛИОТЕКА

Выпуск 1004

А. А. ШУР

БЛИЖНИЙ И ДАЛЬНИЙ ПРИЕМ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

МОСКВА «ЭНЕРГИЯ» 1980

ББК 32.949
Ш96
УДК 621.397.2

Шур А. А.

Ш96 Ближний и дальний прием телевидения — М.: Энергия, 1980. — 80 с. с ил. — (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1004).

40 к.

В книге рассмотрены особенности распространения метровых и дециметровых волн при телевизионном вещании. Разобраны случаи телевизионного приема на ровной и холмистой местности, в горах и большом городе. Дается объяснение и показаны возможности дальнего приема телевидения. Излагаются основные соображения по выбору типа приемной антенны и места ее установки.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся телевидением.

Ш $\frac{30403\text{-}003}{051(01)\text{-}80}$ 250-80. 2402020000

ББК 32.949
6Ф2

ПРЕДИСЛОВИЕ

Значение телевидения сегодня трудно приуменьшить. Около 80% населения в нашей стране смотрят передачи Центрального телевидения. Первую программу и одну программу местного телевизионного вещания можно увидеть во всех крупных городах Советского Союза. Во многих городах и поселках имеется возможность приема цветного телевидения.

При охвате телевидением обширной территории нашей страны с разнообразным рельефом местности неизбежны некоторые потери и, как результат этого, неудовлетворительный прием телевизионных передач. Анализ причин показывает, что во многих случаях они возникают из-за неправильной оценки возможностей телевизионного приема вообще и в каждом конкретном случае. Иногда это бывает из-за неверного выбора приемной антенны и неудачной ее установки, а зачастую просто из-за незнания элементарных законов распространения ультракоротких радиоволн. Так, владельцы телевизоров нередко удивляются тому, что им плохо видны телевизионные передачи, хотя они живут сравнительно недалеко от передающей телевизионной станции, а отдельные радиолюбители стремятся добиться регулярного приема телевизионных станций, удаленных на сотни и тысячи километров при помощи сложных «чудо-антенн», на постройку которых затрачивают много средств и труда.

Задача этой книги — ознакомить читателей с физическими процессами и особенностями распространения ультракоротких радиоволн при передаче телевизионных сигналов на различные расстояния — в зоне «уверенного приема» и за ее пределами. При выборе материала автор отдал предпочтение сведениям актуальным и сравнительно новым для практики — распространению радиоволн дециметрового диапазона, использованию

вертикальной поляризации, помехам местному приему телевидения от соседних и далеко расположенных телевизионных станций и др. Особое внимание в книге уделяется выбору местоположения приемной антенны. Приводятся и элементарные способы расчета ожидаемого уровня сигнала.

Затронутые проблемы далеко не простые, и книга, разумеется, не может дать ответ на все вопросы, встречающиеся на практике. Изложение основывается на описании физических явлений и не выходит за рамки школьного курса математики, поэтому оно должно быть доступно для широкого круга читателей, интересующихся телевидением.

Автор заранее приносит благодарность всем читателям, которые пожелают высказать свои замечания.

Отзывы и пожелания просим направлять по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, издательство «Энергия», редакция Массовой радиобиблиотеки.

Автор

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

РАДИОВОЛНЫ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ КАНАЛОВ

Каждая передающая телевизионная станция имеет два передатчика. Один из них передает электрические сигналы изображений, а другой — звука. В Советском Союзе принят стандарт, согласно которому максимальное число передаваемых в 1 с элементов изображения равно 6,25 млн. Соответственно полоса частот сигнала изображений составляет примерно 6 МГц. Сигнал звукового сопровождения передатчика модулируется по частоте. Несущая частота передатчика звука $f_{зв}$ отстоит от несущей частоты изображения $f_{из}$ на 6,5 МГц. Девиация (отклонение) частоты $f_{зв}$ достигает ±50 кГц. В результате полная ширина частотного телевизионного канала Δf, как показано на рис. 1, составляет 8 МГц.

Передача телевизионных сигналов — изображения и звука — производится на высоких частотах и этот выбор не случаен. Очевидно, что несущая частота передатчика изображения должна быть намного выше частот канала:

$$f_{из} \gg \Delta f. \qquad (1)$$

С другой стороны, использование слишком высоких частот ведет к усложнению приемопередающей аппаратуры. В табл. 1 показаны отведенные в соответствии с существующим стандартом полосы частот и средняя длина волны λ телевизионных каналов. Диапазоном метровых волн (МВ) называют радиоволны, длина волны которых лежит в пределах 1—10 м (300—30 МГц). К диапазону дециметровых волн (ДМВ) относятся радиоволны с длиной волны 0,1—1 м (3000—300 МГц). Радиоволны от 1 см до 10 м очень часто называют ультракороткими волнами (УКВ). Понятно, что УКВ охватывают диапазоны МВ, ДМВ и даже сантиметровые (СМВ) ($\lambda = 1 \div 10$ см).

Из табл. 1 видно, что телевизионные каналы с 1-го по 12-й расположены в диапазоне МВ, а каналы выше 21-го — в диапазоне ДМВ. Интервал частот 66—73 МГц не используется для телевидения. Он предназначен для звукового вещания с частотной модуляцией.

Используемые для телевизионного вещания частоты, кроме того, условно разбиты на пять диапазонов, называемых также полосами; их обозначают римскими цифрами. В I-м диапазоне размещаются 1-й и 2-й каналы, во II-м — 3-й — 5-й. Диапазон III включает в себя все каналы с 6-го по 12-й, диапазон IV с 21-го по 34-й, диапазон V — с 35-го по 81-й (табл. 1 дана не полностью).

Основные свойства УКВ. Телевизионный сигнал содержит целую группу частот, но во многих практических задачах можно рас-

сматривать одну среднюю частоту канала, или среднюю длину волны — λ.

Что собой представляет электромагнитная волна? Если на ровную поверхность пруда бросить камушек, то на поверхности образуются расходящиеся кругами волны. Они движутся от источника их возникновения (возмущения) с определенной скоростью распространения. Для электромагнитных волн возмущениями являются передвигающиеся в пространстве электрические и магнитные поля. Меняющееся во времени электрическое поле обязательно вызывает появление переменного магнитного поля, и наоборот. Эти поля взаимно связаны. Источником электромагнитных волн является провод (антенна), в котором происходит колебание электрических зарядов. Процесс формирования полей, начавшийся вблизи провода, постепенно захватывает точку за точкой все пространство. Скорость распространения радиоволн в свободном пространстве постоянна и равна скорости света $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с.

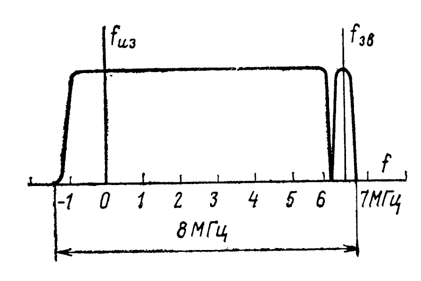


Рис. 1. Полоса частот телевизионного канала.

При распространении в реальной среде (к примеру, в воздухе) скорость движения волны ϑ зависит от свойств среды и обычно меньше скорости света:

$$v = \frac{c}{n}, \qquad (2)$$

где n — коэффициент преломления среды.

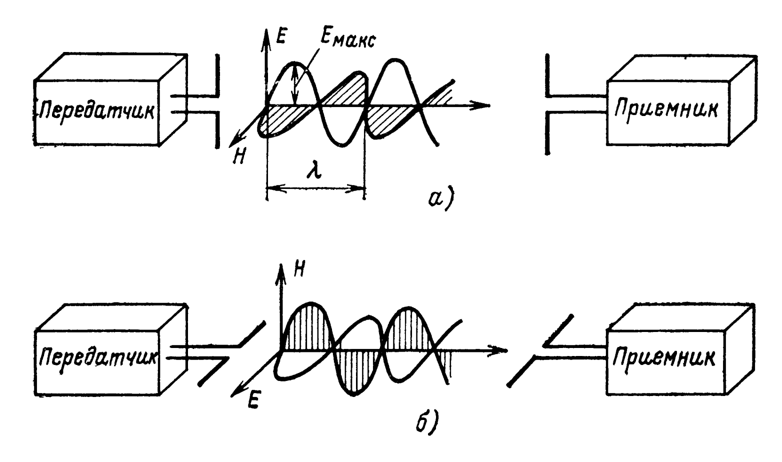


Рис. 2. Структура электромагнитной волны.

а — вертикальная поляризация; *б* — горизонтальная.

Таблица 1

№ канала	Δf, МГц	λ, м
1	48,5—56,5	5,72
2	58—66	4,84
3	76—84	3,75
4	84—92	3,41
5	92—100	3,13
6	174—182	1,68
7	182—190	1,61
8	190—198	1,55
9	198—206	1,48
10	206—214	1,43
11	214—222	1,37
12	222—230	1,32
21	470—478	0,633
22	478—486	0,622
23	486—494	0,612
24	494—502	0,602
25	502—510	0,593
26	510—518	0,584
27	518—526	0,574
28	526—534	0,566
29	534—542	0,558
30	542—550	0,549
31	550—558	0,541
32	558—566	0,534
33	566—574	0,526
34	574—582	0,519
35	582—590	0,512
36	590—598	0,505
37	598—606	0,498
38	606—614	0,492
39	614—622	0,485
40	622—630	0,479

Электрическая и магнитная составляющие электромагнитного поля соответственно характеризуются векторами E и H, которые показывают значение напряженностей полей и их направление. Векторы E и H в каждой точке пространства и вдоль направления распространения волны непрерывно изменяют свое значение во времени в соответствии с законом, по которому изменялся ток в проводнике, возбудивший электромагнитную волну (рис. 2). Произведение векторов EH определяет мощность электромагнитной волны, при этом E выражается в вольтах на метр (В/м), а H — в амперах на метр (А/м). Мощность радиоволн можно характеризовать напряженностью электрического или магнитного поля, поскольку они связаны

между собой определенным соотношением. В практике телевидения удобнее характеризовать поле напряженностью электрического поля: 1 В/м$=10^3$ мВ/м$=10^6$ мкВ/м. Напряженность поля часто выражают в децибелах относительно 1 мкВ/м: $E_{дБ}=20\lg E$, мкВ/м. Например, 1000 мкВ/м соответствует 60 дБ, 1 мкВ/м — 0 дБ.

Радиоволны, двигаясь от передающей антенны, приходят в удаленные различные точки пространства с запаздыванием во времени. Это запаздывание определяется величиной R/c, где R — пройденное волной расстояние

Пусть в точке расположения передающей антенны мгновенное значение напряженности электрического поля изменяется во времени по закону $E'=E'_{макс}\cos\omega t$, тогда на расстоянии R от антенны мгновенное значение напряженности поля будет определяться выражением

$$E=E_{макс}\cos\omega\left(t-\frac{R}{c}\right), \tag{3}$$

где $E_{макс}$ — амплитуда напряженности электрического поля; $\omega=2\pi f$ — угловая частота колебаний; $f=c/\lambda$ — частота, т. е. число колебаний вектора электрического поля в единицу времени.

Выражение

$$\omega\left(t-\frac{R}{c}\right)=\omega t-\frac{2\pi R}{\lambda}$$

определяет фазу электрического поля. В рассматриваемый момент времени запаздывание, равное R/c, будет соответствовать сдвигу фазы волны на $2\pi R/\lambda$.

При распространении в однородной среде электрические и магнитные силовые линии взаимно перпендикулярны и перпендикулярны направлению распространения. Если электрические силовые линии перпендикулярны земной поверхности, то будет вертикальная поляризация. В отличие от этого горизонтально поляризованными волнами называют волны, у которых электрические силовые линии горизонтальны по отношению к земле (рис. 2, *б*). Желаемый вид поляризации достигают соответствующей установкой передающей антенны.

Радиоволны УКВ диапазона обладают некоторой способностью огибать препятствия. Это важнейшее свойство называется д и ф р а к ц и е й. Дифракция сильно зависит от длины волны. Чем длиннее волна по сравнению с размерами экранирующего препятствия (в направлении распространения), тем большая интенсивность поля наблюдается в тени препятствия.

При взаимодействии в некоторой точке пространства двух (или более) радиоволн, созданных одним источником, но прошедших различные пути, будут наблюдаться и различные фазы. Результирующая напряженность поля в зависимости от сдвига по фазе может оказаться как больше, так и меньше напряженности поля каждой волны. Это явление, называемое и н т е р ф е р е н ц и е й (наложением), поясняется на рис. 3. Амплитуды двух волн A и B с одинаковой длиной волны складываются (слева), если имеют одну и ту же фазу, и вычитаются (справа), если их фазы противоположны.

Только в однородной среде радиоволны распространяются по прямолинейным траекториям. При переходе из одной среды в дру-

гую (свойства которой отличаются от свойств первой) радиоволны испытывают отражение и преломление (искривление). Например, отражение и преломление УКВ происходят, когда на их пути лежит земная поверхность. Преломленная волна представляет собой частичный переход электромагнитной энергии в Землю. Поглощение УКВ в почве и воде велико, поэтому преломленная волна для практики не представляет интереса. Если поверхность Земли сравнительно гладкая (поле, луг, спокойная водная гладь), то радиоволны отражаются от нее по известному закону оптики — угол падения равен углу отражения. Часто бывает удобнее пользоваться не углом падения, а дополнительным к нему углом α, называемым углом «скольжения» (рис. 4).

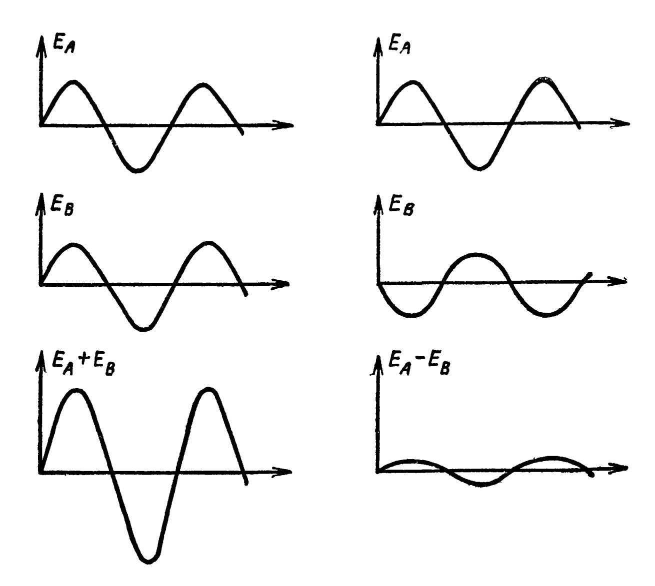


Рис. 3. К объяснению явления интерференции.

Отраженная волна формируется некоторой частью поверхности. Интенсивность отражения от этой поверхности характеризуется коэффициентом отражения Ф.

$$\Phi = \frac{E_{\text{отр}}}{E_{\text{пад}}}, \tag{4}$$

где $E_{\text{отр}}$, $E_{\text{пад}}$ — амплитуды напряженности поля отраженной и падающей волн.

Коэффициент отражения от ровной земной поверхности (рис. 5) зависит от поляризации падающей волны, угла скольжения и длины волны. Нетрудно видеть, что коэффициент отражения имеет большее значение при горизонтальной поляризации и малых углах сколь-

жения. Вертикально поляризованные волны, падающие под некоторым углом, не отражаются, а целиком переходят в Землю. Этот угол, называемый углом полного преломления, на рис. 5 равен 16°. Однако его величина зависит от типа почвы: при отражении от сухой почвы угол полного преломления равен 17°, от моря — 5°.

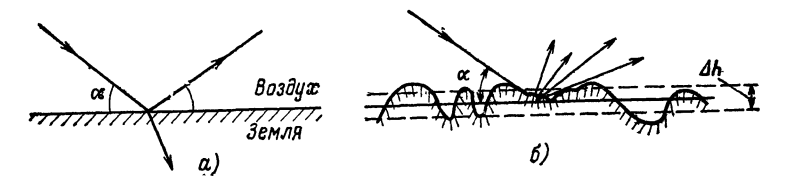


Рис. 4. Отражение радиоволи.

а — от ровной поверхности; *б* — от неровной поверхности.

Земную поверхность можно считать для радиоволн ровной, если средняя высота неровностей местности

$$\Delta h \leqslant \frac{\lambda}{8\alpha}. \qquad (5)$$

При невыполнении этого условия коэффициент отражения будет меньше, чем указано на кривых рис. 5, из-за рассеяния радиоволн. Неровная или шероховатая поверхность представляет собой ряд случайно расположенных отражающих элементов. Отражение волн от элементов происходит по различным направлениям, поэтому отражение от такой поверхности является рассеянным (диффузным) (см. рис. 4). Из (5) следует, что влияние неровностей сильно зависит от длины волны. В оптике аналогом шероховатой поверхности может служить матовая стеклянная пластинка, на ДМВ — местность, покрытая кустарником, неспокойная морская поверхность, на МВ — густо застроенные районы города и т. п. Роль угла скольжения на отражение волн можно наблюдать на простом примере. Лист бумаги при обычном рассмотрении кажется матовым. Если посмотреть на него под очень малым углом скольжения, то он выглядит блестящим вследствие зеркального отражения.

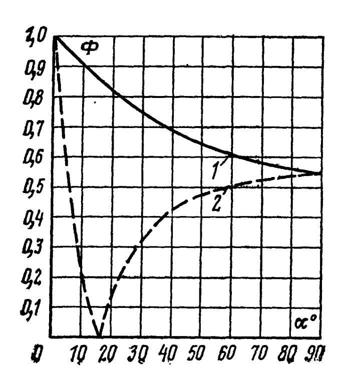


Рис. 5. Зависимость коэффициента отражения радиоволн от угла скольжения для ровной земной поверхности.

1 — горизонтальная поляризация; *2* — вертикальная.

Пример преломления УКВ можно видеть при распространении их в тропосфере — воздушной оболочке Земли. Она окутывает Землю тонким слоем, толщина которого неодинакова: 8—10 км над полюсами

и 16—18 км над экватором. Тропосфера характерна тем, что в ней сосредоточен практически весь водяной пар атмосферы, здесь образуются восходящие и нисходящие потоки воздуха, формируются облака и процессы, влияющие на изменение погоды.

Коэффициент преломления воздуха зависит от его влажности, температуры и давления. В обычном состоянии тропосферы, когда воздух перемешан, эти параметры с высотой уменьшаются; соответственно уменьшается и среднее значение коэффициента преломления. Приземное значение коэффициента преломления воздуха отличается от единицы всего на несколько миллионных долей ($n=1{,}00032$) и с увеличением высоты стремится к единице. Перепад коэффициента преломления на каждые 100 м составляет $5\cdot10^{-6}$. Однако даже столь незначительное изменение коэффициента преломления по высоте оказывает существенное влияние на распространение радиоволн. Верхняя часть фронта излученной волны, находясь в электрически менее плотной среде, приобретает большую фазовую скорость, чем нижняя [см. (2)]. Благодаря этому обстоятельству траектория волны искривляется в сторону Земли.



Искривление траектории волн, обусловленное неоднородным строением тропосферы, называют **атмосферной рефракцией**. Явление атмосферной рефракции характерно не только для радиоволн, но и для световых лучей. Для световых лучей оно известно с глубокой древности. В обычном состоянии тропосферы имеет место положительная рефракция. При такой рефракции траектория радиоволны представляет собой дугу выпуклую вверх, радиоволна преломляется в сторону Земли (рис. 6).

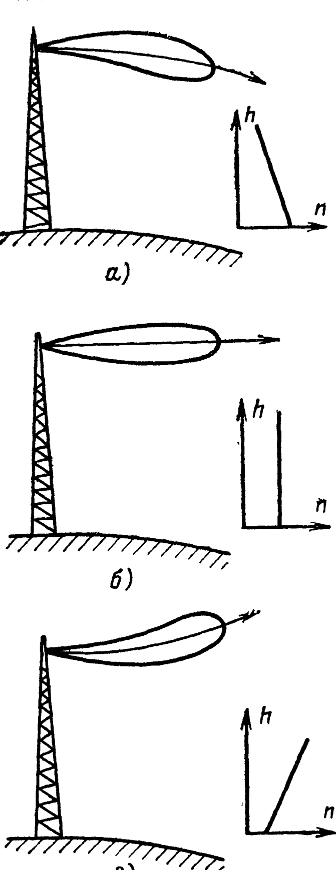


Рис. 6. Виды рефракции (справа показаны соответствующие изменения коэффициента преломления воздуха n по высоте h).

а — положительная рефракция; *б* — отсутствие рефракции; *в* — отрицательная рефракция.

Под влиянием метеорологических факторов иногда возникают существенные отклонения от нормальных условий. Перепад может быть как больше, так и меньше $4 \cdot 10^{-6}/100$ м. Когда перепад меньше этого значения, траектория луча обращена выпуклостью вниз, волна удаляется от земной поверхности. Такой случай называют отрицательной рефракцией.

В первых же опытах с УКВ было обнаружено, что уверенный прием их может быть обеспечен только при прямой видимости между антеннами. Если на пути распространения имеются неровности, напряженность поля резко убывает. При распространении УКВ вдоль земной поверхности нормальная атмосферная рефракция в значительной части времени увеличивает расстояние прямой видимости в 1,15 раза. Для наглядности на рис. 7 показаны условия приема

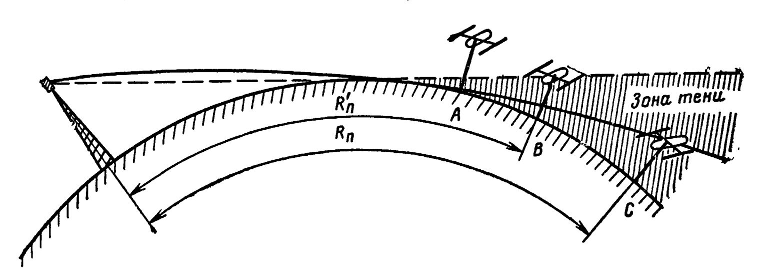


Рис. 7. Влияние атмосферной рефракции на дальность прямой видимости (пунктиром показан путь волны без рефракции, сплошной линией — путь волны под влиянием положительной рефракции).

на УКВ в трех пунктах. В пункте *A* будет уверенный прием в зоне прямой видимости, в пункте *B* — на границе этой зоны. Приемная антенна в точке *C* находится за пределами прямой видимости, в зоне «тени». Благодаря искривлению волны за счет положительной рефракции условия приема в точке *C* улучшаются. Расстояние прямой видимости без влияния рефракции, равное $R'_п$, фактически возрастает до $R_п$.

Нормальную рефракцию учитывают в технических расчетах так: условно считают, что радиус Земли больше действительного (6370 км) в 1,33 раза. При таком радиусе (8500 км) искривленный радиолуч будет прямолинейным.

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ АНТЕННЫ

Электрические свойства антенны, используемой для телевидения, характеризуются диаграммой направленности, коэффициентом усиления, полосой пропускания, входным сопротивлением и другими качественными показателями. В принципе любая передающая антенна может работать в качестве приемной, а приемная — в качестве передающей. Поэтому не имеет значения, в каком режиме работы антенны определены эти показатели. Какой-либо показатель, определенный при работе антенны на передачу, будет справедлив при работе на прием, и наоборот.

Диаграмма направленности — это график, характеризующий зону излучения или зону приема энергии для данной антенны. Обычно снимают два графика в полярных координатах: один в горизонтальной плоскости, другой в вертикальной. За нулевой принимают угол, который соответствует направлению максимального сигнала. Наибольший уровень сигнала принимают за единицу (100%), а для всех остальных направлений берут процентное отношение значений уровня.

Для примера на рис. 8 показана реальная диаграмма направленности приемной трехэлементной антенны типа «волновой канал». Диаграмма получена путем измерения напряжения сигнала на выходе антенны в зависимости от угла поворота антенны в горизонтальной плоскости. Данная антенна обладает наилучшей способностью приема сигнала, когда направление прихода волн перпендикулярно вибраторам. В секторе ±35° напряжение сигнала всегда выше

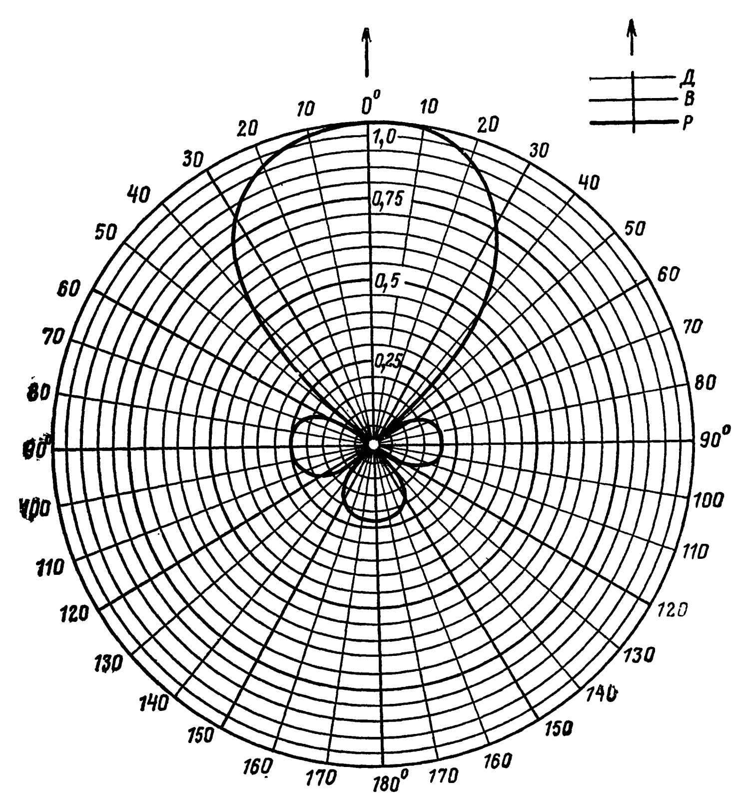


Рис. 8. Схема антенны — вибратор (*В*) с рефлектором (*Р*) и директором (*Д*) и ее диаграмма направленности (по напряжению) (стрелка показывает направление на передающую станцию).

0,7. Это главный лепесток диаграммы направленности. В направлениях вне главного лепестка антенна имеет задние и боковые лепестки. Их уровень конструкторы стремятся свести к минимуму, чтобы исключить прием помех.

Под коэффициентом усиления УКВ антенн на практике обычно понимают некоторое число G, показывающее, во сколько раз излучаемая мощность данной антенны больше мощности, излучаемой полуволновым вибратором, при одинаковой подводимой мощности. Можно также сказать, что коэффициент усиления приемной антенны — число, показывающее, во сколько раз полученная от антенны мощность принимаемого сигнала больше мощности, полученной от полуволнового вибратора. В технической литературе коэффициент усиления антенны выражается часто в децибелах: $G_{дБ}=10\lg G=20\lg G'$, где G' — коэффициент усиления антенны по напряжению. По коэффициенту усиления, выраженному в децибелах, можно определить усиление антенны как по мощности, так и по напряжению. Например, если $G=6$ дБ, то по мощности $G=4$, а по напряжению $G=2$. В данной книге приводится коэффициент усиления антенн по мощности. Для одной и той же длины волны коэффициент усиления антенны тем больше, чем больше ее геометрические размеры, при этом главный лепесток диаграммы направленности — у́же.

Полоса пропускания частот телевизионной антенны является характеристикой, в значительной степени определяющей качество получаемого изображения. Приемная антенна должна принять без заметных искажений весь спектр частот телевизионного сигнала (или сигналов для многоканальной антенны), излучаемого передатчиком. Следует обратить внимание на то, что полоса пропускания антенны зависит от коэффициента усиления. При неизменной длине волны с увеличением коэффициента усиления полоса пропускания сужается.

Входным сопротивлением антенны называют сопротивление в точках подключения фидерной линии. В общем случае входное сопротивление антенны имеет активную и реактивную составляющие. Если антенна настроена в резонанс, то ее входное сопротивление является активным. Так, у полуволнового вибратора входное сопротивление примерно равно 73 Ом. При подключении к антенне несимметричного кабеля применяют различные симметрирующие устройства (петля, мостик). Эти же устройства обычно служат для согласования. Согласование приемной антенны с приемником необходимо для наилучшей передачи мощности сигнала от антенны к приемнику. Оно наступает при равенстве входных сопротивлений приемника, антенны и волнового сопротивления фидерной линии.

Волновое сопротивление линии есть отношение напряжения к току в бегущей волне, распространяющейся вдоль линии. Для линии, представляющей собой коаксиальный кабель, оно зависит от геометрических размеров его проводников и свойств диэлектрика между ними и не зависит от длины кабеля. Потери в кабеле, наоборот, зависят главным образом от его длины: чем длиннее кабель, тем больше потери и меньше полезный сигнал.

Передающие телевизионные станции, как правило, находятся где-то в середине обслуживаемой территории. По этой причине передающую антенну станции выполняют так, чтобы ее диаграмма направленности в горизонтальной плоскости имела форму, близкую

к форме окружности. Для этого излучающие элементы антенны (обычно полуволновые вибраторы) размещают на всех четырех сторонах башни.

Подобно лучам света радиоволны от передающей антенны, попадая на земную поверхность, как бы «освещают» местность. Для того чтобы излучаемая энергия понапрасну не рассеивалась, главный лепесток диаграммы направленности передающей антенны сужается в вертикальной плоскости и под небольшим углом наклоняется к земной поверхности (рис. 9). Это напоминает известный способ улучшения звукового вещания, при котором поднятые громкоговорители наклоняются вниз. Сужение главного лепестка антенны в вертикальной плоскости получают особым расположением излучателей

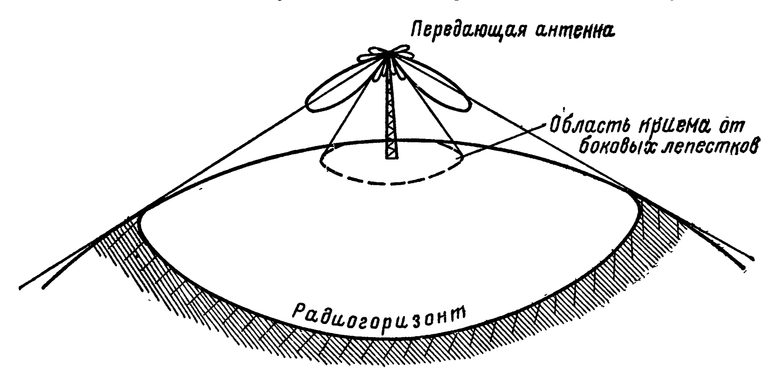


Рис. 9. «Освещение» местности передающей антенной.

друг над другом. Благодаря такому сужению коэффициент усиления передающих антенн достигает значений 6—14 в диапазоне МВ и 20—30 в диапазоне ДМВ. На рис. 9 можно видеть, что в прилегающей непосредственно к станции зоне, очерченной пунктиром, излучение происходит боковыми лепестками диаграммы направленности передающей антенны. Радиус этой зоны обычно составляет несколько километров.

Некоторые типы приемных телевизионных антенн показаны на рис. 10. Простейшая и весьма распространенная одноканальная антенна для индивидуального приема — полуволновой вибратор (рис. 10, *а*). С симметричным короткозамкнутым четвертьволновым шлейфом (мостиком) он может быть использован без переделок для приема передач, например, 1-го и 3-го каналов. Если антенна настроена на 1-й канал, то 3-й будет приниматься с меньшей эффективностью, и наоборот. Антенна, показанная на рис. 10, *б*, называется ТАИ-12. Она предназначена для приема всех 12 каналов и представляет собой широкополосный вибратор. Коэффициент усиления антенны ТАИ-12 практически такой же, как у простого полуволнового вибратора ($G=1$). Недостаток рассмотренных антенн — отсутствие усиления и защиты от мешающих сигналов, приходящих со стороны, противоположной направлению приема полезного сигнала.

Зигзагообразная антенна (рис. 10, *в*), выполняемая в радиолю-

бительских условиях из простейших материалов, позволяет вести прием либо с 1-го по 5-й канал, либо с 6-го по 12-й. Эта антенна без дополнительных устройств согласуется со стандартным 75-омным кабелем. Коэффициент усиления антенны 3—6,5; бо́льшим значениям соответствует высокочастотный край диапазона, а также настройка

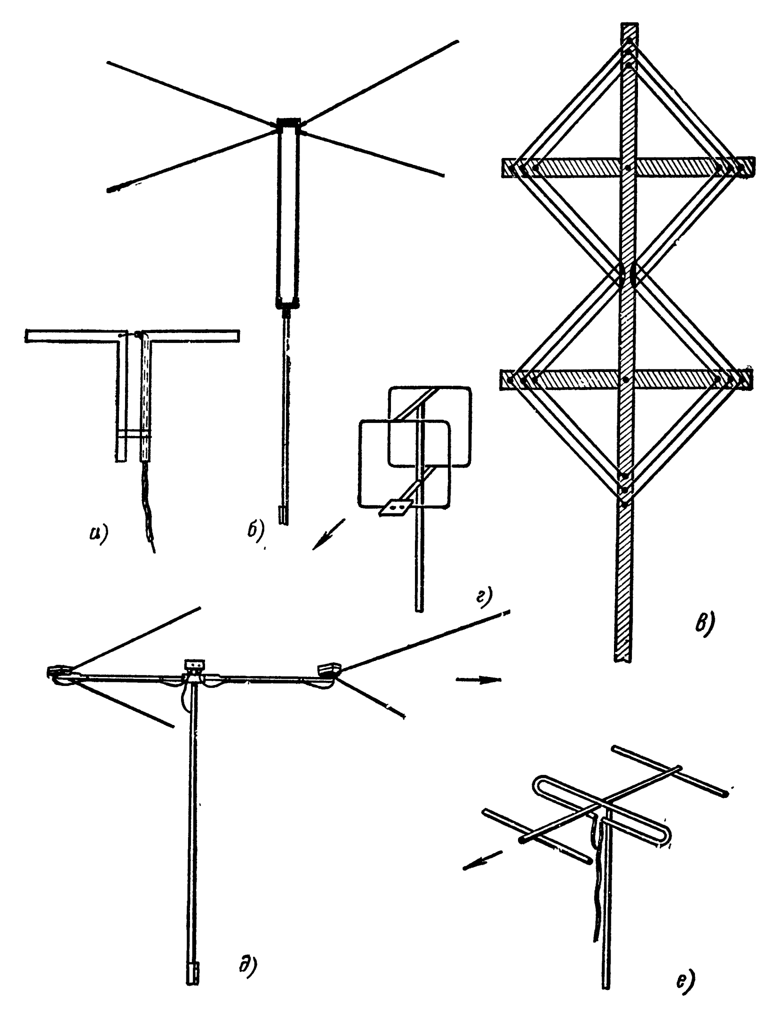


Рис. 10. Приемные телевизионные антенны.

а — полуволновой вибратор; *б* — широкополосный (многоканальный) полуволновой вибратор; *в* — зигзагообразная антенна; *г* — рамочная антенна; *д* — многоканальная антенна с активным рефлектором; *е* — антенна типа «волновой канал».

антенны на один канал. Если к антенне добавить металлический рефлектор, коэффициент усиления несколько возрастет и антенна станет однонаправленной. Рефлектор можно выполнить в виде металлической сетки.

Для приема одного-двух каналов радиолюбители иногда делают антенну в виде квадратных рамок. Подобная антенна, состоящая из двух рамок, показана на рис. 10, *г*. Рамочные антенны просты по конструкции. Их входное сопротивление близко к 75 Ом, что упрощает согласование со стандартным кабелем. Коэффициент усиления двухрамочной антенны $G \approx 3$. Антенна является однонаправленной.

Для большинства случаев индивидуального приема телевидения очень удобна антенна типа ИТА-12 (рис. 10, *д*). Она позволяет принимать телевизионные сигналы каналов с 1-го по 12-й и в то же время обладает однонаправленностью. Помехи, приходящие со стороны, обратной приему, подавляются благодаря тому, что антенна имеет диапазонный активный рефлектор. Коэффициент усиления антенны в зависимости от длины волны лежит в пределах 0,7—3. Наибольшее значение коэффициента усиления получается в каналах с 6-го по 11-й.

В Советском Союзе и за рубежом наибольшее распространение в практике телевизионного приема получили антенны типа «волновой канал».

Такая антенна состоит из рефлектора, петлевого или прямого активного вибратора и одного или нескольких директоров (рис. 10, *е*). Стандартный 75-омный кабель снижения подключается к активному вибратору с помощью симметрирующе-согласующего трансформатора. Антенна типа «волновой канал» может обеспечить сравнительно высокое усиление и защиту от помех. У антенны с одним простым рефлектором мощность помех, приходящих с обратной стороны, ослабляется примерно в 10 раз. Коэффициент усиления во многом зависит от того, как выполнена антенна. Антенна, изготовленная для приема одного канала (канальная антенна), имеет наибольший коэффициент усиления и более узкий главный лепесток диаграммы направленности. Коэффициент усиления для некоторых антенн типа «волновой канал» приведен в табл. 2.

Для 1—3-го каналов обычно делают антенны с числом вибраторов не более пяти, так как антенна при большом числе элементов получается громоздкой. Для приема высокочастотных каналов число вибраторов может быть и больше. К примеру, типовая антенна, предназначенная для работы в ДМВ диапазоне, имеет 15 элементов

Таблица 2

Принимаемый канал	Количество элементов	Коэффициент усиления
1	3	3,2
3	4	5
7	5	6,7
12	5	6,7
1 и 3	5	2,7 на 1-м канале 3,5 на 3-м канале
21—39	15	8,3—16

(табл. 2). Помимо активного петлевого вибратора в ее состав входят три рефлектора и одиннадцать директоров. Коэффициент усиления в пределах полосы пропускания антенны равен 8,3—16. Мощность помех, поступающих со стороны, обратной приему, ослабляется в среднем в 100 раз. Антенна ДМВ имеет широкую полосу пропускания. Без перестройки она позволяет принимать все каналы с 21-го по 41-й. Антенны ДМВ могут размещаться на одной опоре с антеннами, работающими на МВ. Во избежание взаимного влияния расстояние между ними выбирают не менее 1 м. Из антенн типа «волновой канал» можно создавать более сложные варианты антенн. Две синфазно включенные антенны для приема горизонтально поляризованных телевизионных сигналов, разнесенные на полволны, позволяют повысить напряжение сигнала почти вдвое.

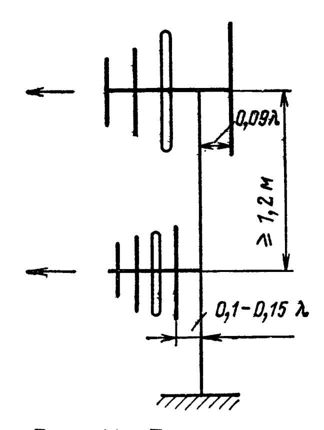


Рис. 11. Телевизионные антенны для приема вертикально поляризованных волн.

Для приема вертикально поляризованных волн вибраторы антенн устанавливают в плоскости, перпендикулярной поверхности Земли. Диаграмма направленности таких антенн может быть искажена, если для ее крепления используют металлическую стойку. Для того чтобы исключить влияние стойки, можно рекомендовать при приеме 1—5-го каналов крепить антенну к ней между рефлектором и активным вибратором на расстоянии 0,09 λ от рефлектора (рис. 11). При приеме 6—12-го каналов рекомендуется с помощью длинной стрелы отнести антенну от стойки так, чтобы расстояние между стойкой и рефлектором было равно 0,1—0,15 λ.

Рабочий диапазон некоторых конструкций антенн типа «волновой канал» допускает прием нескольких телевизионных каналов. Однако там, где условия приема затруднены из-за малого уровня сигнала или большого уровня помех, применяют канальные антенны.

При отсутствии опыта и необходимых приборов нельзя рекомендовать радиолюбителям самостоятельное конструирование антенн. Лучше всего использовать готовые антенны заводского изготовления или повторить проверенные на практике известные конструкции.

Фидеры антенн. В качестве фидерных линий приемных телевизионных антенн используют в большинстве случаев коаксиальные кабели с волновым сопротивлением около 75 Ом. Коаксиальные кабели хороши тем, что потери мощности в них сравнительно невелики. Кроме того, благодаря их экранирующим свойствам в значительной степени повышается помехоустойчивость приема. Качество фидера оценивают к. п. д. η. Его определяют как отношение мощности на выходе фидера к мощности на входе. Фидеры передающих центров имеют, как правило, высокий к. п. д. В ориентировочных расчетах для фидеров передающих антенн, работающих на МВ, можно принять $\eta_1 \approx 1$, при работе на ДМВ $\eta_1 \approx 0{,}5$. Для коаксиальных кабелей, используемых в фидерах приемных антенн, в справочной ли-

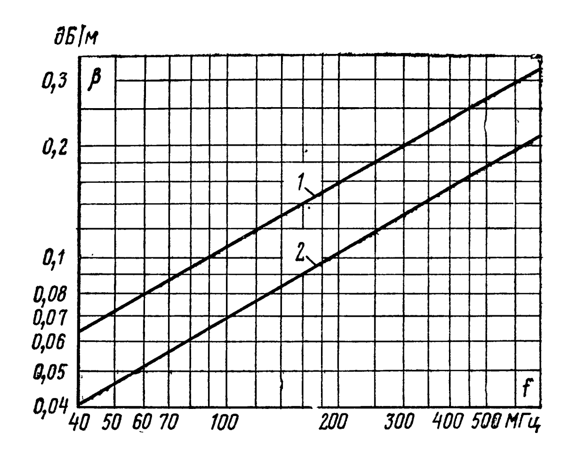


Рис. 12. Погонное затухание коаксиальных кабелей.

Кривая 1 — для кабелей типа РК-75-4-15 (РК-1) и РК-75-4-11 (РК-101); 2 — для РК-7-9-12 (РК-3) и РК-75-9-13 (РК-103).

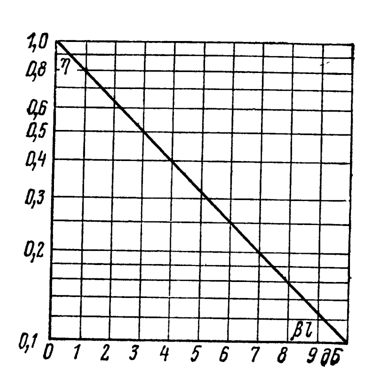


Рис. 13. График для определения к. п. д. фидера.

тературе приводится погонное затухание β в децибелах на метр (рис. 12). Полное затухание кабеля длиной l, очевидно, равно βl децибелам. По этому значению к. п. д. фидера η можно быстро найти с помощью графика на рис. 13.

УРОВЕНЬ СИГНАЛА И КАЧЕСТВО ПРИЕМА

Уровень сигнала. В телевизионных передатчиках используют амплитудную модуляцию. Во время передачи светлых деталей изображения передатчик «закрывается», при передаче темных деталей амплитуда колебаний на выходе передатчика возрастает. По этой причине мощность видеопередатчика определяют по пиковому зна-

чению. Пиковая мощность передатчика соответствует передаче вершин синхронизирующих импульсов и не зависит от характера передаваемого изображения. Если к передатчику подключена ненаправленная антенна и потерь в фидере нет, что антенна излучает мощность, равную мощности передатчика, равномерно по всем направлениям в окружающее ее пространство. При подключении направленной антенны излучаемая мощность концентрируется в ограниченном секторе пространсгва. С помощью приемника, установленного в таком секторе, можно убедиться, что подключение направленной антенны равносильно увеличению мощности передатчика.

Пиковая излучаемая мощность (обозначим ее буквой P) вычисляется по формуле

$$P = P_1 G_1 \eta_1, \quad (6)$$

где P_1— пиковая мощность передатчика; G_1 —коэффициент усиления передающей антенны. Например, если $P_1=5$ кВт, $G_1=8$, $\eta_1=0{,}9$, тогда $P=36$ кВт.

В табл. 3 приведены излучаемые мощности некоторых телевизионных станций [4—6].

Таблица 3

Город	Высота опоры передающей антенны (округленно), м	Канал	Излучаемая мощность (округленно), кВт
Москва	500	1 и 3	270
		8 и 11	360
Минск	300	1	200
		6	250
Орел	200	6	25
		11	40
Брянск	150	2	10
		22	300

О мощности станции можно судить в какой-то степени по высоте опоры, на которой подвешены антенны. Многие станции, имеющие опору высотой 180—250 м, обладают мощностью 35 кВт в МВ диапазоне. Мощность излучения станций с опорой 350 м и более в тех же диапазонах составляет примерно 200 кВт. В ДМВ диапазоне излучаемая мощность станций около 300 кВт.

Если передающая антенна излучает мощность P, кВт, то на расстоянии R, км, от нее напряженность электрического поля, выра-

жаемая в мВ/м, может быть определена следующим образом:

$$E = \frac{222\sqrt{P}}{R} V, \qquad (7)$$

где V — множитель ослабления поля свободного пространства, учитывающий ослабление радиоволн в реальных условиях (влияние Земли и атмосферы, влияние высот антенн, длины волны и другие факторы).

В большинстве встречаемых на практике случаев $V \ll 1$ и вся трудность определения напряженности поля в месте приема заключается именно в этом множителе. Множитель ослабления для разных условий приема будет приведен ниже. В идеальных условиях, т. е в свободном пространстве, $V=1$. К таким условиям, например, близки условия радиосвязи «самолет—самолет». Подставив в (7) пиковое значение мощности, получим пиковое значение напряженности поля сигнала (точнее, синхроимпульса).

В конечном итоге нас интересует не напряженность поля, а напряжение сигнала на входе телевизора. Между напряжением сигнала на входе телевизора u и напряженностью поля сигнала в месте приема E существует следующая зависимость:

$$u = 0{,}16\lambda \sqrt{G\eta}\, E, \qquad (8)$$

где G — коэффициент усиления приемной антенны; η — к. п. д. фидера.

Формула справедлива, если волновое сопротивление фидера равно примерно 75 Ом, фидер согласован с антенной и со входом телевизора. Значение E удобно подставлять в микровольтах на метр, λ — в метрах, тогда u получается в микровольтах.

Нельзя не обратить внимания на одно важное обстоятельство, вытекающее из (8). Напряжение сигнала, снимаемое с антенны, пропорционально произведению $\lambda\sqrt{G}$. Для того чтобы сигнал не снижался при переходе к ДМВ, необходимо на этих волнах использовать антенны с более высоким коэффициентом усиления.

Пример. Телевизионная станция работает в 6-м частотном канале ($\lambda=1{,}68$ м) с излучаемой мощностью $P=150$ кВт. Расстояние до точки приема $R=80$ км. Приемная антенна имеет $G=6$, фидер выполнен из кабеля типа РК-1, длина фидера — 15 м. Требуется определить напряжение сигнала на входе телевизора, если известно, что $V=0{,}02$.

По формуле (7) напряженность поля

$$E = \frac{222\sqrt{150}}{80} 0{,}02 = 0{,}68 \text{ МВ/м } (680 \text{ мкВ/м}).$$

Длина волны 1,68 м соответствует $f=180$ МГц. Из рис. 12 для $f=180$ МГц находим $\beta \approx 0{,}15$ дБ/м. Полное затухание в кабеле $\beta l = 0{,}15 \cdot 15 = 2{,}25$ дБ. По рис. 13 определяем, что $\eta=0{,}6$. Согласно (8) напряжение сигнала $u = 0{,}16 \cdot 1{,}68 \cdot 680 \sqrt{6 \cdot 0{,}6} = 347$ мкВ.

Измерение напряжения телевизионного сигнала рекомендуется проводить с помощью приборов, показывающих пиковое либо квазипиковое значение (рекомендация Международного Консультативного комитета по радио). Такой прибор пред-

ставляет собой приемник высокой частоты с пиковым детектором, на выход которого включен стрелочный индикатор.

Телевизионный сигнал изображения зачастую измеряют стандартным приемником, предназначенным для измерения помех. Измерители помех имеют инерционный квазипиковый детектор с постоянной времени заряда 1 мкс, разряда — 550 мкс; полоса пропускания равна примерно 120 кГц (на уровне 6 дБ). Из-за слишком узкой полосы пропускания подобные приборы показывают напряжение сигнала меньше истинного примерно в 1,4 раза.

Для определения напряженности поля измерительный приемник следует подключить к антенне с известным коэффициентом усиления. Когда напряжение сигнала будет измерено, вычислить напряженность поля не представляет большого труда с помощью (8).

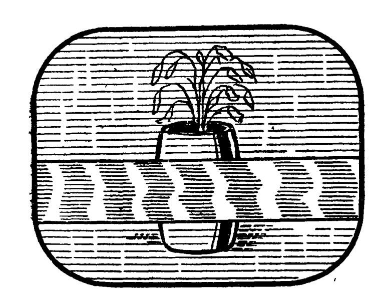


Рис. 14. Помеха от электромедицинской аппаратуры.

Качество принимаемого изображения в большой степени зависит от уровня сигнала. Эта зависимость характеризуется чувствительностью телевизионного приемника. Реальная чувствительность оценивается напряжением сигнала, при котором изображение будет удовлетворительным. Приему слабых сигналов мешают помехи и шумы, они ограничивают чувствительность приемника. Приемлемое качество изображения получается только тогда, когда напряжение сигнала на выходе приемника, т. е. на управляющем электроде кинескопа, превышает напряжение шумов в несколько десятков раз.

Радиопомехи и шумы проявляются в дополнительной паразитной модуляции электронного луча кинескопа по яркости. Помехи создают на экране «рябь», «елочку» (рис. 14), «сетку» и т. п.

Сильные помехи нарушают синхронизацию строк и кадров. Помехи бывают кратковременные и непрерывные. Источниками кратковременных помех являются системы зажигания двигателей внутреннего сгорания, световая реклама, электромоторы и генераторы. Непрерывную помеху в виде сетки из наклонных линий по всему экрану создают различного рода радиостанции и гетеродины близко расположенных радиоприемников и телевизоров.

При отсутствии промышленных помех прием слабых сигналов телевидения затруднен из-за внутренних и внешних шумов. Шум на экране появляется в виде «точек» и «черточек», напоминающие снег. Он особенно заметен, когда уровень сигнала слаб или когда в эфире нет передачи, а ручка регулировки контрастности поставлена в максимальное положение. Шум представляет собой случайные колебания напряжений и токов, вызываемые такими причинами, как бес-

порядочное тепловое движение электронов в проводниках, неравномерность вылета электронов из катодов ламп и т. п. Мощность шумов тем больше, чем больше сопротивление проводника и его температура. Хаотический шум не имеет какой-то одной определенной частоты, а охватывает очень широкий спектр частот. По этой причине мощность шумов на выходе приемника растет пропорционально его полосе пропускания.

Шумовое напряжение на входе приемника составляет обычно всего несколько микровольт, однако в современных телевизионных приемниках, имеющих большое усиление, оно создает на выходе значительное напряжение. Наибольшее шумовое напряжение вносят первые каскады приемника и антенна, так как их сигналы подвергаются наибольшему усилению в последующих каскадах. При увеличении усиления приемника сигнал и шум на выходе возрастают в равной мере и мешающее действие шумов не устраняется. Когда напряжение полезного сигнала значительно больше напряжения помех, телезрители устанавливают усиление телевизора так, что помехи заперты.

Относительно шумов, создаваемых антенной, следует сказать особо. Каждая антенна обладает активным сопротивлением, включающим сопротивление излучения и сопротивление потерь (например, у полуволнового вибратора активное сопротивление составляет примерно 75 Ом). Оказывается, что антенна создает шум более сильный, чем эквивалентное ей активное сопротивление. Дополнительный шум, принимаемый антенной, вызывается тепловым движением частиц атмосферы, земной поверхности, но более всего радиоизлучением Галактики.

Природа радиоизлучения Галактики еще не совсем ясна, но известно, что главным источником космических шумов является район созвездий Скорпиона и Тельца. Мощный источник шумов — Солнце. Остронаправленная антенна МВ, «нацеленная» на Солнце, дает увеличенный уровень шума. Космические шумы ограничивают чувствительность приемника примерно до частоты 120 МГц, т. е. до 5-го телевизионного канала. На более высоких частотах их интенсивность сводится к нулю. Однако чувствительность приемника, к сожалению, не улучшается, она снова ограничивается, но уже собственными шумами приемника. Последние существенно возрастают с частотой.

Ориентировочный уровень напряженности поля сигнала, помех и шумов в зависимости от частоты показан на рис. 15 (напряжение собственных шумов приемника пересчитано в эквивалентную им напряженность поля).

Качество изображения на экране телевизора наиболее просто (субъективно) может быть оценено по 5-балльной шкале: 5 — помеха незаметна; 4 — помеха заметна, но не мешает; 3 — помеха немного мешает; 2 — помеха сильно мешает; 1 — изображение неприемлемо. В каналах МВ диапазона черно-белое изображение из-за внутренних и внешних шумов получается с оценкой 4—5 баллов при подаче на вход телевизора сигнала напряжением 400—600 мкВ (пиковое значение). Качество изображения может оставаться приемлемым (3—4 балла) при напряжении сигнала 200—300 мкВ. В каналах ДМВ диапазона вследствие повышенных собственных шумов приемника требуется уровень около 800—1000 мкВ и более. При напряжении сигнала около 400 мкВ качество приема обычно уже неудовлетворительное. Во избежание недоразумений необходимо отметить, что фигурирующая в техническом описании телевизора чув-

ствительность около 50—100 мкВ характеризует только усилительную и шумовую способности телевизора. Численно она равна напряжению, которое нужно подать на вход телевизора, чтобы получить на выходе отношение напряжений сигнал/шум, равное 10. При та-

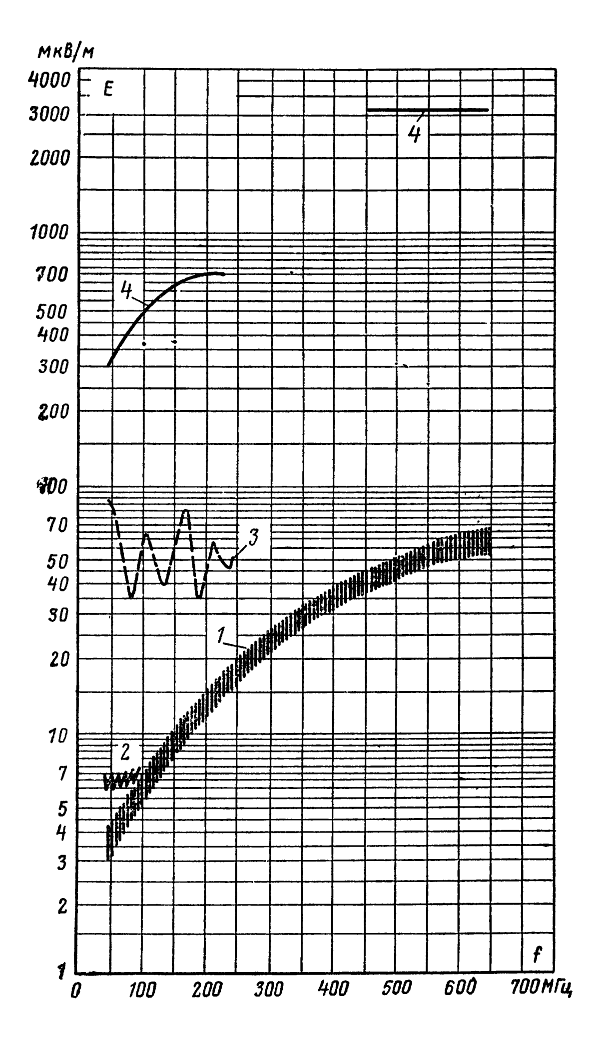


Рис. 15. Ориентировочное значение напряженности поля шумов, помех и минимально допустимого уровня сигнала (в полосе 6 МГц).

1 — внутренние шумы приемника; 2 — космические шумы; 3 — промышленные помехи; 4 — уровень сигнала.

ком отношении качество изображения еще неудовлетворительное. Для получения удовлетворительного изображения напряжение сигнала должно быть в 5 раз больше указанного в паспорте телевизора. Так, например, чувствительность телевизора «Рубин-205» по паспорту не хуже 50 мкВ. Следовательно, для нормального приема надо подвести, как минимум, напряжение сигнала 50·5=250 мкВ. Для цветных телевизионных приемников требуемое напряжение сигнала должно быть больше, чем для черно-белых, в 1,2—1,3 раза.

Радиолюбители, занимающиеся дальним приемом, сужают иногда полосу пропускания тракта изображения телевизора в 2 раза, т. е. до 2—2,5 МГц. При этом повышается чувствительность приемника, но ухудшается качество изображения (пропадают мелкие детали). Уменьшение полосы пропускания в 2 раза приводит к уменьшению напряжения шумов в $\sqrt{2}$ раз. Соответственно на МВ минимальное подводимое напряжение к телевизору составит 140—210 мкВ.

Пример. Реальная чувствительность телевизора в 1-ом канале равна 250 мкВ. Коэффициент усиления приемной антенны $G=3$, к. п. д. фидера $\eta=0{,}8$.

Определим, какая должна быть напряженность поля, чтобы на входе телевизора напряжение сигнала было 250 мкВ. Используя (8), находим:

$$E = \frac{u}{0{,}16\lambda\sqrt{G\eta}} = \frac{250}{0{,}16\cdot5{,}7\sqrt{3\cdot0{,}8}} \approx 180 \text{ мкВ/м}.$$

Радиолюбители в некоторых случаях, например при дальнем приеме, ведут прием при напряженности поля около 80—100 мкВ/м. По действующему стандарту для нормальных условий приема необходима напряженность поля не менее 300—700 мкВ/м в 1—12-м каналах и 3200 мкВ/м в ДМВ каналах (рис. 15). В больших индустриальных городах из-за высокого уровня помех минимально допустимая напряженность поля равна примерно 5000 мкВ/м.

ЭХО-СИГНАЛЫ

Сигнал изображения в каждый момент времени пропорционален яркости передаваемого предмета. Тем не менее при вполне исправном телевизоре на его экране иногда видны ложные сигналы. Это темные или светлые окантовки вертикальных границ контура изображения, повторные изображения, вертикальные полосы («столбы») и другие подобные искажения. Они возникают в связи с приходом к приемной антенне нескольких лучей.

Простейший случай — двухлучевой прием — показан на рис. 16. Как видим, здесь кроме прямой (полезной) волны к приемной антенне приходит вторая (паразитная) волна, обусловленная отражением (эхом) от какого-либо постороннего предмета. В большинстве случаев эхо-сигнал проходит больший путь и распространяется по времени дольше, чем прямой (полезный) сигнал. Поскольку развертка электронного луча в кинескопе по строкам осуществляется слева направо, то эхо-сигнал создает второе изображение относительно основного вправо (рис. 17, *а*). Повторных изображений может быть несколько, если имеется несколько эхо-сигналов (рис. 17, *б*). Они особенно заметны при передаче титров и большом сдвиге даже при

напряженности поля отраженных волн в 10 и более раз меньше напряженности прямой волны.

Ложные изображения могут быть как темными, так и светлыми. Это определяется фазовыми соотношениями между несущими полезного и отраженного сигналов. Интенсивные эхо-сигналы при больших запаздываниях создают в левой части экрана один или несколько вертикальных полос различных оттенков. Ширина полос определяется шириной строчного бланкирующего импульса и составляет около 20% длины строки (рис. 17, *в*).

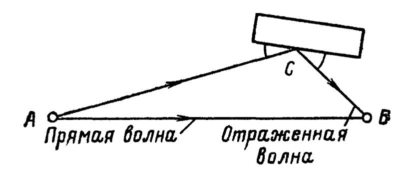


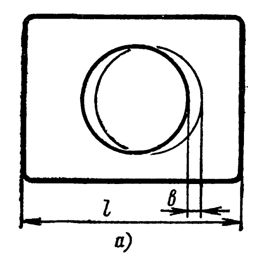
Рис. 16. Схема двухлучевого приема.

А — точка передачи; *В* — приема; *С* — отражения.

Время t, в течение которого электронный луч на экране телевизора смещается от точки основного изображения к точке повторного, определяется формулой

$$t = \frac{b}{l} \cdot 52 \text{ мкс}, \qquad (9)$$

где b — расстояние между контурами изображений; l — длина строки.



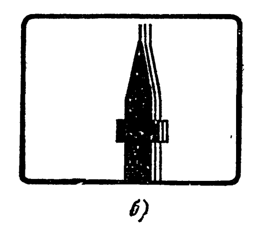




Рис. 17. Искажения изображения.

а — при двухлучевом приеме; *б* — при фидерном эхе; *в* — при большом запаздывании и интенсивном отражении.

По известному значению t нетрудно найти разность хода волн Δr, так как скорость электромагнитных волн в воздухе равна 300 м в 1 мкс:

$$\Delta r = ACB - AB = 300t. \qquad (10)$$

Например, $l=489$ мм (трубка с диагональю 59 см), $b=10$ мм. По (9) и (10) получаем: $t=10 \cdot 52/489=1{,}06$ мкс, $\Delta r=300 \cdot 1{,}06 \approx$ ≈ 318 м.

Модуляция яркости изображения на экране электронно-лучевой трубки может происходить с максимальной частотой $f_{\text{макс}} \approx 6$ МГц.

Отсюда минимальная длительность свечения элемента изображения равна:

$$\frac{1}{2f_{\text{макс}}} \approx 0{,}08\,\text{мкс}.$$

На экране трубок с диагональю 43—61 см диаметр каждого элемента изображения составляет 0,56—0,84 мм. Понятно, что дополнительная модуляция яркости эхо-сигналами с запаздыванием менее 0,08 мкс будет незаметна. Первое повторное изображение становится заметным при запаздывании около 0,2 мкс. Оно отстоит от основного изображения на 2,5 элемента и обычно представляет собой окантовку контура. Запаздывание >0,2 мкс, как нетрудно подсчитать, соответствует разности хода лучей больше 60 м.

Другая причина появления повторных изображений — несогласованность фидеров антенн. В фидере передающей антенны энергия, распространяющаяся от передатчика, полностью поглощается антенной только в том случае, когда ее входное сопротивление точно равно волновому сопротивлению фидера. При рассогласовании часть энергии, дошедшей до антенны, отражается обратно к передатчику. Если фидер недостаточно согласован с передатчиком, происходит повторное отражение. В результате такого «фидерного эха» антенна излучает повторный сигнал, запаздывающий на время

$$t = \frac{2L_{\text{ф}}}{v}, \tag{11}$$

где ϑ — скорость волны в фидере; $L_{\text{ф}}$ — длина фидера (в данном случае $\Delta r = 2L_{\text{ф}}$).

Фидерное эхо бывает многократным, поэтому повторные изображения, возникающие из-за рассогласования в фидере, отличаются тем, что они отстоят друг от друга на равном расстоянии. Чем дальше повторное изображение отстоит от основного, тем слабее его контрастность. Оно может быть светлым и темным. Сдвиг между повторами в этом случае должен быть равен:

$$b = \frac{lL_{\text{ф}}\sqrt{\varepsilon}}{7800}, \tag{12}$$

где l и b — в миллиметрах, $L_{\text{ф}}$ — в метрах. Здесь ε — диэлектрическая проницаемость материала, заполняющего кабель; для обычных приемных телевизионных кабелей $\varepsilon = 2{,}3$; для фидеров передающих антенн $\varepsilon \approx 1$. Формула (12) учитывает, что скорость волны в фидере в $\sqrt{\varepsilon}$ раз меньше, чем в воздухе.

Повторные изображения, вызванные несогласованностью фидера передающей антенны, проявляются, конечно, сразу во многих местах приема. Следует сказать, что идеальная настройка фидеров передающих антенн во всей полосе телевизионного сигнала невозможна. Вблизи передающей станции на некоторых каналах иногда можно обнаружить слабо заметные повторные изображения.

Пример. На экране телевизионной трубки видны повторы примерно через 14 мм. Определим, являются ли они следствием рассогласования фидера передающей антенны, если известны длина

строки $l=365$ мм (трубка с диагональю 43 см), длина фидера $L_ф \approx$ ≈ 300 м (высота башни).

Полагая $\varepsilon=1$, по (12) находим $b=365\cdot300/7800=14$ мм. Есть основание считать, что источник повторов — фидерное эхо.

В несогласованном фидере приемной антенны также возникает отражение волны. Энергия, распространяющаяся в кабеле от антенны к приемнику, частично отражается обратно по направлению к антенне, от антенны опять к приемнику и т. д. Из-за небольшой длины фидеров приемных антенн роль их в появлении повторных изображений обычно невелика. Так, например, в рассогласованном фидере, выполненном из стандартного коаксиального кабеля длиной

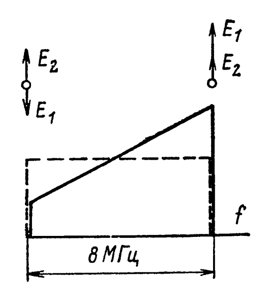


Рис. 18. Искажение амплитудно-частотной характеристики в тракте распространения радиоволн (пунктир — характеристика без искажений, векторы показывают сложение радиоволн на одной частоте и вычитание на другой).

30 м, повторное изображение проявляется только в виде окантовки контура изображения ($b \approx 2$ мм). Окантовка исчезает при согласовании либо с телевизором, либо с антенной.

Эхо-сигналы с малым временем запаздывания (менее 0,2 мкс) не создают повторных изображений, но могут существенно исказить амплитудно-частотную характеристику тракта распространения радиоволн. Для простоты объяснения снова обратимся к двухлучевому приему (см. рис. 16). Разность фаз между прямым и отраженным сигналами на частоте f равна:

$$\varphi = 360° \frac{\Delta r}{\lambda} = 1{,}2\Delta r f, \qquad (13)$$

где Δr и λ — в метрах, f — в мегагерцах, φ — в градусах.

При изменении частоты в пределах полосы сигнала изображения разность фаз будет непостоянна. Составляющие спектра сигнала, находящиеся в фазе, имеют большую амплитуду напряженности поля. Составляющие спектра, которые оказываются в противофазе, имеют минимальную интенсивность. При одинаковой амплитуде полезного и паразитного сигналов это приводит к такому искажению амплитудно-частотной характеристики, что об удовлетворительной четкости изображения не может быть и речи (рис. 18).

Из (13) видно, что при $\Delta r=25$ м изменение частоты от 100 до 106 МГц приводит к изменению фазы на 180°. Но во многих случаях амплитуда отраженных сигналов оказывается меньше амплитуды полезного сигнала. Частотные искажения становятся практически незаметными при превышении напряжения полезного сигнала над отраженным в 5—10 раз.

БЛИЖНИЙ ПРИЕМ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Под ближним приемом телевидения обычно понимают прием телевидения на расстоянии нескольких километров от передающей телевизионной станции. В данной главе ближний прием будем понимать как прием в «зоне обслуживания» телевизионной станции. Зона обслуживания ограничена примерно расстоянием прямой видимости. Внутри этой зоны в подавляющем большинстве мест приема напряженность поля, создаваемого станцией, не ниже 300—700 мкВ/м на МВ и 3200 мкВ/м на ДМВ (см. рис. 15).

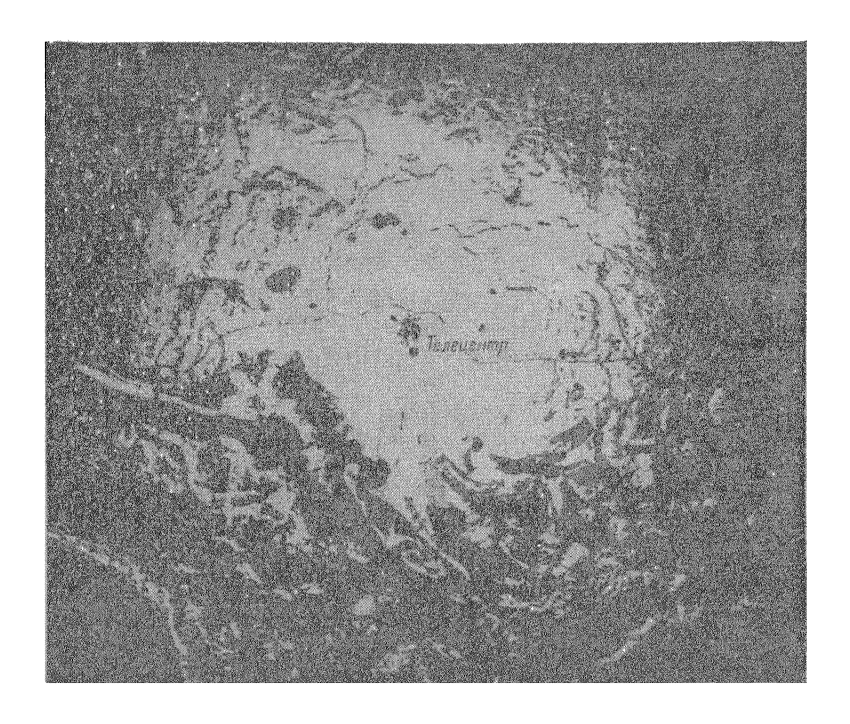


Рис. 19. Модель зоны прямой видимости телевизионной станции (высота башни передающей антенны 200 м).

Общее представление о распространении УКВ при телевизионном вещании в реальных условиях дает рис. 19. Это фотография модели рельефа местности около одной передающей телевизионной станции. В точке, где должна находиться передающая антенна, на модели установлена миниатюрная осветительная лампочка. Ясно, что устойчивый прием следует ожидать там, где виден свет лампочки. На север (вверх) от станции местность сравнительно ровная. В этом направлении освещенная область простирается дальше, чем

в южном. В южном направлении гряда возвышенностей затеняет некоторые участки. Затененные участки в виде островков имеются и неподалеку от передающей станции. В реальных условиях на затененных участках все же будет слабый прием, поскольку УКВ обладают большей способностью огибать препятствия по сравнению со световыми волнами. В зоне обслуживания станции могут быть различные условия приема телевидения, поэтому распространение радиоволн над гладкой и над неровной земной поверхностью приходится рассматривать раздельно. Еще более сложные условия телевизионного приема возникают в больших городах.

Большой современный город для УКВ представляет собой, образно говоря, хаотическое нагромождение «экранов» и «зеркал». Таковыми являются здания, мосты, заводские трубы, высоковольтные линии и другие сооружения. При распространении УКВ в этих условиях, естественно, возникают зоны тени и распределенные по случайному закону стоячие волны. Нет ничего удивительного, что в том или ином микрорайоне города прием телевизионных передач оказывается неудовлетворительным. В одном японском журнале приводятся интересные статистические данные, в которых говорится об увеличении числа жалоб от горожан на плохой прием телевидения по мере возрастания плотности застройки и этажности зданий. Вопросы телевизионного приема в городах сейчас стали настолько злободневными, что в некоторых странах они обсуждаются на страницах газет, журналов и даже в парламенте.

ПРИЕМ ТЕЛЕВИДЕНИЯ НА РОВНОЙ МЕСТНОСТИ

Из предыдущей главы читателю должно быть ясно, что понятие ровной местности с точки зрения ее влияния на распространение радиоволн относительно. Местность «ровная» для МВ может быть уже «неровной» для ДМВ. В природе встречаются, конечно, и действительно ровные поверхности. К ним можно причислить пустынно-степные районы, озера, моря и т. п. Равнинная местность отличается однообразной, более или менее ровной или слабоволнистой поверхностью и отсутствием резко выраженных неровностей. Для простоты рассуждения мы будем считать, что поверхность Земли (суши или воды) идеально сферическая. С учетом нормальной рефракции (т. е. при радиусе Земли 8500 км) расстояние прямой видимости на такой поверхности, выраженное в км, будет равно:

$$R_{\text{п}} = 4{,}12\left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right), \qquad (14)$$

где h_1 — высота подвеса передающей антенны, м; h_2 — высота подвеса приемной антенны, м. Высота подвеса передающих антенн во многих случаях, встречаемых на практике, равна приблизительно 300 м, приемных антенн — около 10 м. Для таких высот

$$R_{\text{п}} = 4{,}12\left(\sqrt{300} + \sqrt{10}\right) = 84 \text{ км}.$$

Распространение УКВ над ровной поверхностью в пределах прямой видимости характерно тем, что к приемной антенне приходят две волны (рис. 20): одна попадает к антенне по кратчайшему пути *AB*, другая — после отражения от Земли, пройдя более длинный путь *ACB*. Результирующая напряженность поля в точке приема определяется как результат интерференции этих волн. Геометрически ре-

зультирующее поле можно представить как замыкающую сторону треугольника, одна сторона которого E_1 соответствует амплитуде напряженности поля прямой волны, другая, равная E_2, — амплитуде отраженной волны, а угол φ между сторонами равен сдвигу фаз между волнами. Когда обе волны одинаковы по амплитуде, результирующая напряженность поля

$$E = 2E_1 \cos\frac{\varphi}{2}. \tag{15}$$

Фазовый сдвиг между волнами φ определяется набегом фазы на отрезке Δr, равном разности хода волн, плюс 180° — поворот фазы волны при отражении от земной поверхности:

$$\varphi^\circ = \frac{360^\circ \Delta r}{\lambda} + 180^\circ. \tag{16}$$

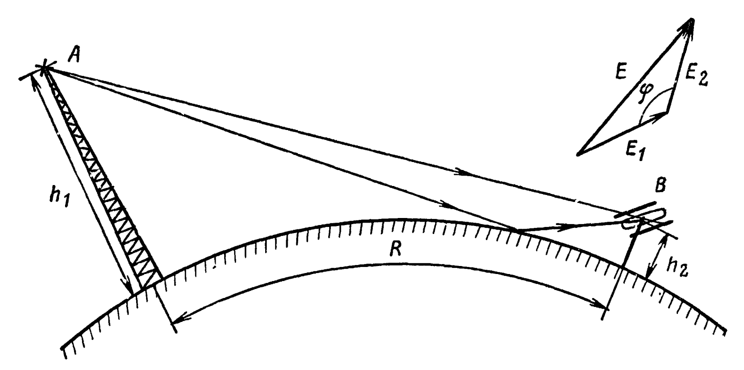


Рис. 20. Траектории радиоволн при распространении над ровной земной поверхностью (вверху показано сложение векторов напряженностей полей).

Разность хода волн

$$\Delta r = ACB - AB = \frac{m2h_1h_2}{R}, \tag{17}$$

где m — безразмерный коэффициент, учитывающий кривизну Земли. Для расстояний, меньших 20 км, земную поверхность можно считать плоской, а $m=1$. Значение m определяют по кривым (рис. 21). Подставив формулу (16) в (15), можно получить выражение

$$E = 2E_1 \sin\left(180^\circ \frac{\Delta r}{\lambda}\right). \tag{18}$$

Как видно из (17) и (18), изменение высот антенн, расстояния между ними или длины волны будут вызывать изменение фазового сдвига между прямой и отраженной волнами. При этом будет происходить периодическое изменение напряженности поля от максимума до минимума (знак синуса не учитывается). В тех точках про-

странства, где $\Delta r=\lambda/2$, $3\lambda/2$, $5\lambda/2$ ... получается удвоенная напряженность поля прямой волны: $E=2E_1$. В точках, где $\Delta r=0$, λ, 2λ ..., результирующая напряженность поля $E=0$. В действительности полного пропадания поля в этих точках не происходит, поскольку коэффициент отражения $\Phi<1$. На коротких расстояниях это происходит из-за того, что угол скольжения сравнительно большой (см. рис. 4), а на длинных из-за того, что энергия радиоволн при отражении от выпуклой земной поверхности расходится подобно световым вол-

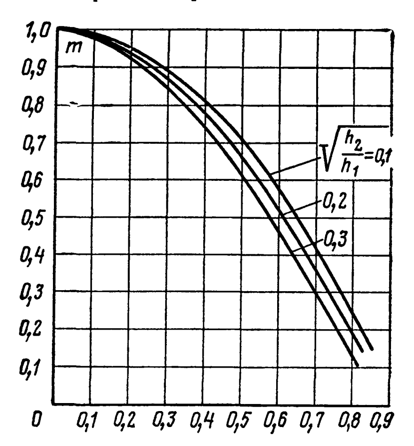


Рис. 21. График для определения коэффициента m, учитывающего кривизну Земли.

нам от выпуклого зеркала. Комбинируя (7) и (17), выражение (18) можно записать следующим образом:

$$E=\frac{444\sqrt{P}}{R}\sin\left(360^\circ\frac{mh_1h_2}{R\lambda}\right). \qquad (19)$$

Если подставить P в киловаттах, R — в километрах, параметры под знаком синуса — в одинаковых единицах (кроме, конечно, безразмерной величины m), то напряженность поля получится в милливольтах на метр. Данная формула, называемая **отражательной**, позволяет выбирать наилучшие условия приема на равнинной местности на расстояниях, не превышающих $0{,}8R_п$, и при условии, что антенны приподняты над Землей по крайней мере на несколько метров. При выполнении дополнительного условия

$$\frac{mh_1h_2}{R\lambda}\leqslant 0{,}1 \qquad (20)$$

значения синуса в формуле (19) могут быть заменены его аргументом, тогда

$$E=\frac{2{,}76\sqrt{P}\,mh_1h_2}{R^2\lambda}, \qquad (21)$$

где R выражено в километрах, остальные параметры — в тех же единицах, что и в (19).

Формула (21) выведена академиком Б. А. Введенским (1928 г.) и называется **квадратичной формулой Введенского** (напряженность поля убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, т. е. очень быстро). Увеличение высоты подвеса передающей и приемной антенн приводит к возрастанию напряженности поля.

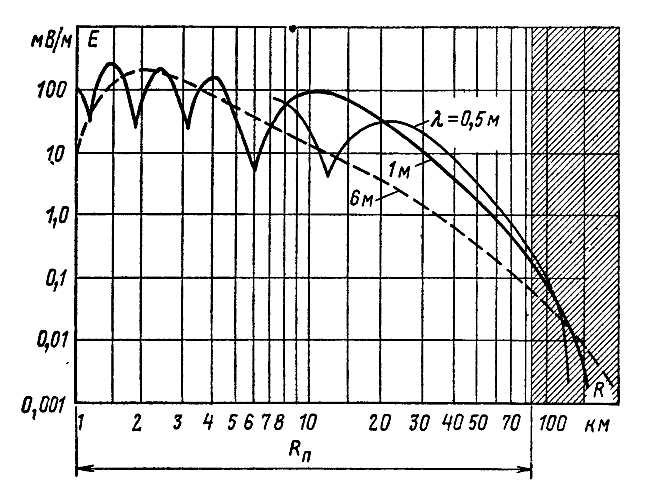


Рис. 22. Зависимость напряженности поля от расстояния при распространении радиоволн различной длины над гладкой земной поверхностью ($P=1$ кВт; $h_1=300$ м; $h_2=10$ м).

С помощью (19) на рис. 22 построены кривые, показывающие типичный характер зависимости напряженности поля от расстояния при распространении волн над ровной земной поверхностью. Для значений R специально взят логарифмический масштаб для того, чтобы нагляднее показать максимумы и минимумы поля, иначе говоря, лепестковую (интерференционную) структуру поля. Первым лепестком называют лепесток, расположенный ближе других к границе прямой видимости. Для волны длиной 6 м максимум напряженности поля первого лепестка находится на расстоянии $R \approx 2$ км, максимум второго лепестка — на расстоянии 665 м (на рисунке он не виден). Для волны длиной 1 м максимум первого лепестка сдвигается к границе видимости и находится при $R \approx 12$ км, максимум второго лепестка — при $R \approx 4$ км и т. д. Кривые построены для горизонтальной поляризации волн. При вертикальной поляризации интенсивность отраженных волн уменьшается, поэтому минимумы получаются менее глубокими. Обращает на себя внимание ход кривых в интервале расстояний от $0{,}2\,R_п$ до $R_п$. Здесь напряжен-

ность поля выше на более коротких волнах. Например, при приеме телевидения на расстоянии 30 км от передатчика напряженность поля в 12-м канале ($\lambda \approx 1$ м) будет больше, чем в 1-м ($\lambda \approx 6$ м), в 10 раз (20 дБ). Вблизи границы прямой видимости еще сохраняется частотная зависимость, при которой напряженность поля выше на более короткой волне. За границей прямой видимости зависимость поля от длины волны становится обратной. Бо́льшая напряженность поля отмечается на более длинной волне, поскольку здесь уже действует другой механизм распространения волн.

Формула Введенского оказывается справедливой для участка, расположенного между максимумом первого лепестка и расстоянием, равным $0{,}8R_п$, на правом склоне первого лепестка. Применительно к случаю, показанному на рис. 22, формулу Введенского для волны 1-го канала можно применить на расстояниях 10—65 км, а для волны 12-го канала — только в интервале 50—65 км.

Пример. Передающая телевизионная станция расположена на ровной местности. Излучаемая мощность станции на волне $\lambda = 3{,}13$ м составляет $P = 5$ кВт. Высота передающей антенны $h_1 = 180$ м, приемной — $h_2 = 9$ м. Требуется определить напряженность поля на расстоянии $R = 50$ км от передающей станции.

Сначала находим расстояние прямой видимости:

$$R_п = 4{,}12\left(\sqrt{180} + \sqrt{9}\right) = 67{,}5 \text{ км}.$$

Так как $R < 0{,}8R_п = 0{,}8 \cdot 67{,}6 = 53{,}5$ км, имеем право воспользоваться расчетными соотношениями (19) и (21).

Для определения параметра m вычисляем отношения:

$$\sqrt{\frac{h_2}{h_1}} = \sqrt{\frac{9}{180}} = 0{,}223; \quad \frac{R}{R_п} = \frac{50}{67{,}5} = 0{,}74.$$

Пользуясь этими данными, из рис. 21 находим $m \approx 0{,}32$.

Проверяем выполнение неравенства (20). Поскольку

$$\frac{0{,}32 \cdot 180 \cdot 9}{50\,000 \cdot 3{,}13} \approx 0{,}003 < 0{,}1,$$

для расчета напряженности поля можно воспользоваться формулой Введенского:

$$E = \frac{2{,}76\sqrt{5} \cdot 0{,}32 \cdot 180 \cdot 9}{50^2 \cdot 3{,}13} \approx 0{,}4 \text{ мВ/м}.$$

Подъем приемной антенны тоже приводит к лепестковой структуре поля. Напряженность поля и соответственно напряжение сигнала периодически возрастают и уменьшаются. Реальная зависимость такого вида показана на рис. 23. Первым лепестком называют лепесток, находящийся ближе к земле. Для плоской земной поверхности высота приемной антенны, при которой наблюдается первый максимум сигнала, может быть вычислена с помощью формулы

$$h_{2макс} = \frac{\lambda R}{4h_1}. \qquad (22)$$

Второй максимум сигнала будет на высоте, в 3 раза большей высоты первого максимума, третий максимум — на высоте, в 5 раз большей высоты первого максимума и т. д. Для сферической поверхности, т. е. для $R>20$ км, уже нельзя привести простого выражения для расчета $h_{2макс}$.

Для частного случая, когда $h_1=300$ м, высота подвеса приемной антенны, соответствующая первому максимуму, показана в виде графиков на рис. 24. Хотя графики построены только для одной высоты подвеса передающей антенны, можно утверждать, что на расстояниях в несколько десятков километров от передатчика установ-

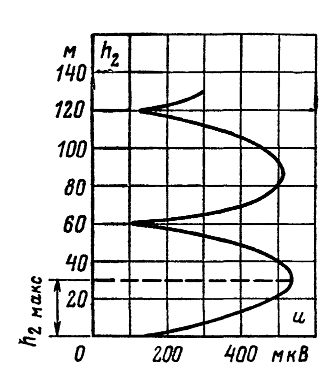


Рис. 23. Зависимость напряжения сигнала на входе приемника от высоты приемной антенны над ровной земной поверхностью ($R=30$ км, $h_1=150$ м, $\lambda=0{,}6$ м).

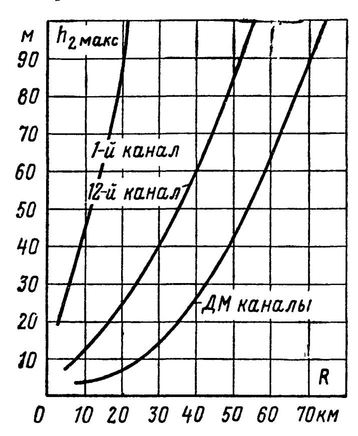


Рис. 24. Высоты приемной антенны, при которых отмечается первый максимум уровня сигнала.

ка приемной антенны в точку максимума требует очень высоких опор. Например, на расстоянии 30 км от станции высота подвеса дециметровой антенны $h_{2макс}\approx 13$ м; для антенны, работающей на волне 12-го канала, — 40 м, на волне 1-го канала — 170 м.

Пример. Пусть $\lambda=1{,}37$ м (11-й канал), $h_1=480$ м, $R=15$ км. Найдем высоты подвеса приемной антенны, соответствующие максимуму сигнала.

Так как в данном случае земную поверхность можно считать плоской, воспользуемся формулой (22):

$$h_{2макс}=\frac{1{,}37\cdot 15\,000}{4\cdot 480}=10{,}7\,\text{м}.$$

Второй максимум будет на высоте $10{,}7\cdot 3=32$ м, третий на высоте $10{,}7\cdot 5=53{,}5$ м и т. д.

Как было показано выше, отраженная волна может вызвать ухудшение качества телевизионного изображения. С этой точки зрения волна, отраженная от земной или водной поверхности, является наименее опасной, поскольку разность хода волн получается неболь-

шой. Для наглядности обратимся к численному примеру. Пусть $h_1 = 300$ м, $h_2 = 50$ м, $R = 1000$ м. Согласно (17) разность хода прямой и отраженной от земной поверхности волн составит всего 30 м.

ПРИЕМ ТЕЛЕВИДЕНИЯ НА ХОЛМИСТОЙ МЕСТНОСТИ

Холмистая, пересеченная местность отличается волнообразной поверхностью. Высота холмов не превосходит обычно 200 м. При расчете уровней телевизионных сигналов неровности местности

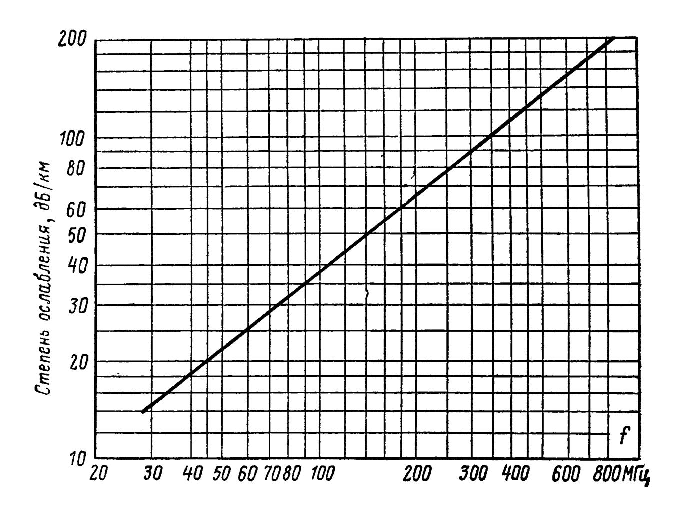


Рис. 25. Затухание радиоволн в лесу и подлеске в зависимости от частоты (деревья полностью покрыты листвой; лес с густым подлеском).

оценивают по средней высоте. Средняя высота неровностей местности может быть вычислена по приближенной формуле

$$\Delta h \approx 0,4\,(z_{\text{макс}} - z_{\text{мин}}), \qquad (23)$$

где $z_{\text{макс}}$ — максимальная отметка (т. е. высота над уровнем моря) местности, м; $z_{\text{мин}}$ — минимальная отметка местности, м.

Отметки местности находят по топографической карте на линии, проведенной от точки передачи к точке приема: например, $z_{\text{макс}} = 220$ м, $z_{\text{мин}} = 100$ м, тогда $\Delta h = 48$ м. Для холмистой местности, встречающейся во многих частях Европы и Северной Америки, $\Delta h = 50$ м. Для сильно пересеченной местности $\Delta h = 150 \div 300$ м.

Ослабление сигналов, обусловленное влиянием растительности, кирпичными и деревянными зданиями, меняется в зависимости от частоты. Это значит, что такие препятствия являются «полупрозрачными». Практически «непрозрачные» препятствия — это неровности земной поверхности и железобетонные строения. Полупрозрачные препятствия вносят

ослабление тем большее, чем выше частота сигнала. В диапазоне частот, используемых для телевидения, влияние леса и отдельных деревьев в наименьшей степени сказывается на частоте 1-го канала. На графике рис. 25 видно, что оно составляет примерно 22 дБ/км. На частоте 12-го канала ослабление доходит до 75 дБ/км, на частоте несколько сот мегагерц лес фактически уже непрозрачен. На практике нередко можно видеть, что прием телевидения в первом частотном канале в поле и за рощей, на одном и том же расстоянии от передающей станции, получается одинаковым. Можно также заметить, что и отдельно стоящие деревья перед приемной антенной влияют не-

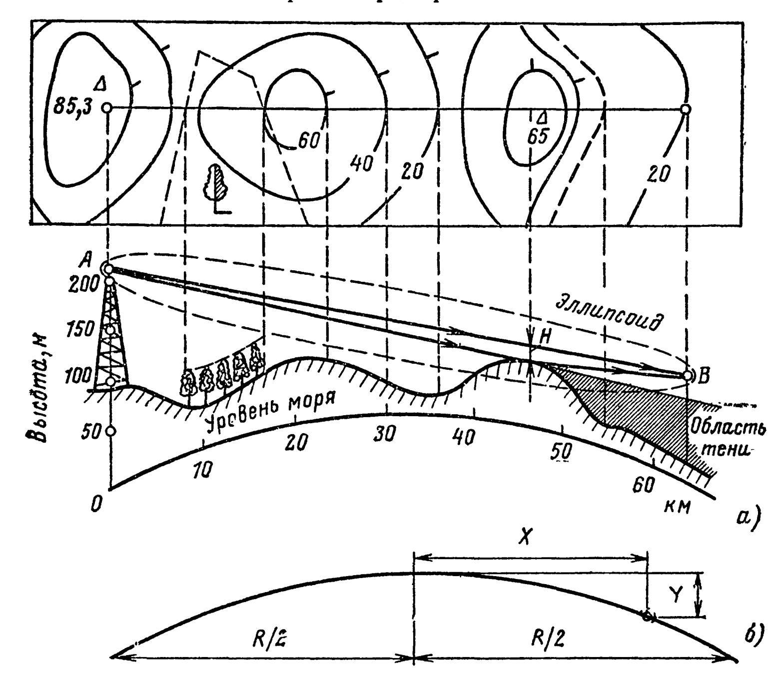


Рис. 26. Схема распространения радиоволн над неровной земной поверхностью.

а — топографическая карта и профиль местности; *б* — способ построения кривой, изображающей уровень моря или какой-либо условный уровень.

значительно. Так, например, в одном эксперименте антенну располагали перед липами. При густой листве видимость сквозь деревья была плохой; без листвы отдельные предметы довольно хорошо просматривались. На волне 0,56 м среднее значение ослабления получилось 0,15 дБ/м при горизонтальной и 0,25 дБ/м при вертикальной поляризации. Влияние подобного затенения из буковых деревьев оказалось настолько малым, что измерить затухание не удалось.

Интересно, что во время сильной засухи в Европе летом 1976 г. погибли многие деревья, но наиболее выносливым оказался бук (возможно, из-за малого содержания влаги). В мокрых деревьях, а также в мокрых стенах кирпичных и деревянных домов радиоволны ослабляются сильнее. При установке приемной антенны в тени леса иногда после сильного ливня телезрители замечают снижение качества телевизионного изображения. Так, в цветном телевизоре пропадает цвет.

Влияние растительности неодинаково в различные сезоны года. Минимальное ослабление радиоволн наблюдается зимой. Отчасти это связано с тем, что в это время года деревья не имеют листвы. Существует мнение, что поглощение в лесу при вертикальной поляризации радиоволн больше, чем при горизонтальной. Эта разница не всегда бывает заметной, особенно если лес густой, а частота сигнала выше 150 МГц.

Выяснение наличия прямой видимости и вообще условий приема в данном месте проводят с помощью построения профиля местности (рис. 26). Профиль строят по топографическим картам с последующим уточнением непосредственно на местности. Обычно уточняют расположение и высоту отдельных препятствий: леса, зданий и т. п. Так как высоты подъема антенн и рельефа местности несоразмерны с длиной трассы, то при построении профиля применяют разные масштабы по горизонтали и вертикали. На рис. 26 (внизу) показано построение линии кривизны земной поверхности, являющейся основой для построения профиля. Здесь X и Y — координаты точки линии кривизны. Задаваясь различными значениями X, км, значение Y, м, находят по формуле

$$Y = 0{,}059X^2. \qquad (24)$$

При $X=10$ км получаем $Y=5{,}9$ м и т. д. Формула (24) выведена для радиуса Земли 8500 км, т. е. с учетом нормальной рефракции. Линия кривизны принимается за линию уровня моря, или за линию некоторого начального уровня. От этой линии откладывают все высоты данного профиля. На профиль обязательно наносят все крупные предметы, служащие преградой для радиоволн. Из профиля, в частности, можно определить подъем приемной антенны для достижения прямой видимости.

Здесь надо сделать следующее замечание. Прямую видимость часто определяют для случая, когда линия визирования, проходящая через точку передачи и точку приема, касается вершины наиболее высокого препятствия (см. рис. 7). Однако, прямая видимость, соответствующая максимальному сигналу, получается при некотором просвете H_0 между линией визирования и вершиной препятствия. Объясняется это тем, что основная доля энергии радиоволн сосредоточена не в бесконечно тонком луче, как рисуют на эскизах, а занимает определенную область пространства вокруг линии визирования. Область имеет форму сильно вытянутого эллипсоида вращения с фокусами в точках A и B.

Напряженность поля в месте приема имеет максимальное значение ($V=1$), если эллипсоид не загораживается препятствием. Когда наиболее высокое препятствие находится на середине трассы, для этого условия необходим просвет около 50—150 м на МВ и 25—50 м на ДМВ. Большое значение просвета требуется на более длинной трассе. В реальных условиях просвет обычно получается меньшим. Поэтому и возникает ослабление радиоволн.

Для случая, когда препятствие расположено вблизи приемной или передающей антенны,

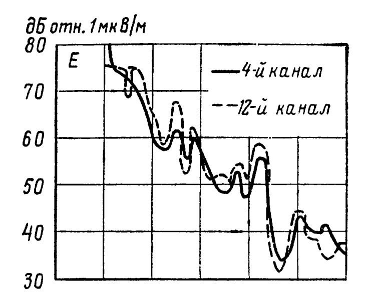
$$H_0 = \sqrt{\frac{r\lambda}{3}}, \qquad (25)$$

где r — расстояние от антенны до препятствия ($r \ll R$).

Формула (25) показывает, что чем короче длина волны, тем меньше требуется просвет. Так, если расстояние от приемника до препятствия $r = 100$ м и $\lambda = 3$ м, то просвет H_0 согласно (25) равен 10 м. Другими словами, максимальный сигнал будет при установке приемной антенны выше препятствия на 10 м. Для $\lambda = 0{,}5$ м антенну достаточно установить выше препятствия на 4 м.

На холмистой местности границу зоны обслуживания телевизионной передающей станции в некоторых случаях определяют так же, как над гладкой сферой Земли, т. е. по (14). В первом приближении это справедливо потому, что внутри этой зоны в подавляющем большинстве мест приема осуществим уверенный прием.

Условия приема телевизионных передач на холмистой местности бывают подобны условиям приема над гладкой местностью. Дело в том, что на отражение радиоволн от Земли влияет только узкая площадка, вытянутая в направлении распространения радиоволн на несколько километров. Когда высоты подвеса антенн одинаковы, играет роль площадка земной поверхности на середине трассы. При телевизионном вещании высота установки передающих антенн обычно во много раз больше приемных, поэтому отражение радиоволн происходит практически от площадки вблизи приемной антенны. Если эта площадка представляет собой открытое поле, луг или озеро, то возникает зеркальное отражение волны. Отраженная волна в совокупности с прямой образуют лепестковую картину поля.



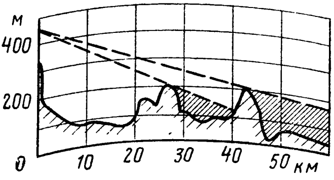


Рис. 27. Характер зависимости напряженности поля от расстояния на неровной местности ($P = 1$ кВт; $h_1 = 320$ м над средним уровнем местности; $h_2 = 3$ м).

На рис. 27 показаны реальный профиль пересеченного рельефа местности около одной передающей телевизионной станции (нижний рисунок) и результат измерения напряженности поля на этой местности (кривые на верхнем рисунке). Здесь нет четкой интерференционной картины поля, наблюдаемой при распространении УКВ над ровной земной поверхностью. Интерференция иногда проявляется в том, что на участках с прямой видимостью напряженность поля выше на более коротких волнах. Форма зависимости напряженности поля от расстояния во многом повторяет форму профиля мест-

ности. На расстояниях около 23, 27 и 42 км местность более возвышена и напряженность поля соответственно растет. За холмами напряженность поля резко падает, это — область тени. Падающие на холм радиоволны частично переизлучаются в область тени. Подобное явление называют «усилением за счет препятствия». Подробнее о нем будет сказано ниже. В области тени напряженность поля сигналов выше на более длинной волне.

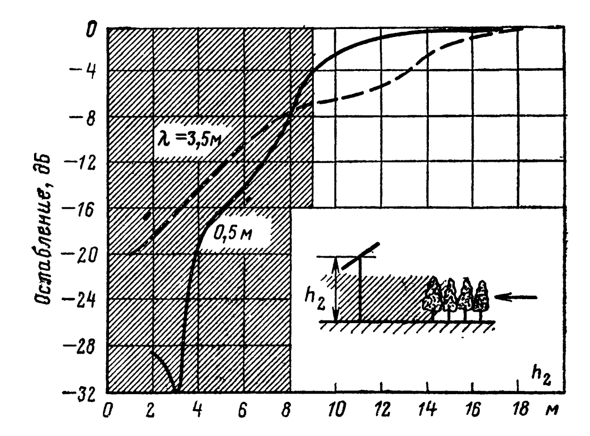


Рис. 28. Характер ослабления энергии радиоволн за рощей при изменении высоты приемной антенны (стрелка показывает направление прихода волн).

На рис. 28 приведены характерные экспериментальные зависимости ослабления поля, полученные при изменении высоты приемной антенны за рощей. Высота деревьев в роще — около 9 м, расстояние до антенны 65 м. Кривая, полученная на волне $\lambda=3{,}5$ м, характеризует диапазон МВ, а кривая для $\lambda=0{,}5$ м — диапазон ДМВ. На обеих волнах максимальный сигнал получается при установке антенны выше верхушек деревьев на 8 м, дальше поднимать антенну не имеет смысла, поскольку сигнал не возрастает. Когда антенна установлена вровень с высотой деревьев, напряжение сигналов падает примерно в 2 раза (—6 дБ). Опускание антенны на 5 м ниже кромки деревьев приводит к уменьшению напряжения сигнала на той и другой волне в 6—7 раз (—16 дБ). Обращает на себя внимание то, что в тени препятствия большее ослабление испытывает более короткая волна, а при наличии прямой видимости — более длинная, так же как и в большинстве случаев на предыдущем рисунке. Таким образом, зависимости напряженности поля от частоты на холмистой местности проявляется слабо. Исключение составляет прием в глубокой тени.

Напряженность поля сигналов на холмистой местности может быть определена точно лишь путем измерений. Приближенная оценка возможна по так называемым «кривым распространения» Международного консультативного комитета по радио

(МККР). МККР рекомендует единые кривые для диапазонов МВ (рис. 29) и ДМВ (рис. 30). Кривые приведены для различных высот подвеса передающей антенны при высоте подвеса приемной антенны $h_2 = 10$ м. Высоту передающей антенны определяют над средним уровнем Земли на участке 3—15 км от передающей станции по направлению к месту приема, высоту приемной антенны — над данной местностью. Напряженность поля, указанная на оси ординат (обозначим ее E'), соответствует излучаемой мощности 1 кВт. Расчет напряженности поля E для какой-либо иной мощности излучения P производится по формуле

$$E = E' \sqrt{P}. \qquad (26)$$

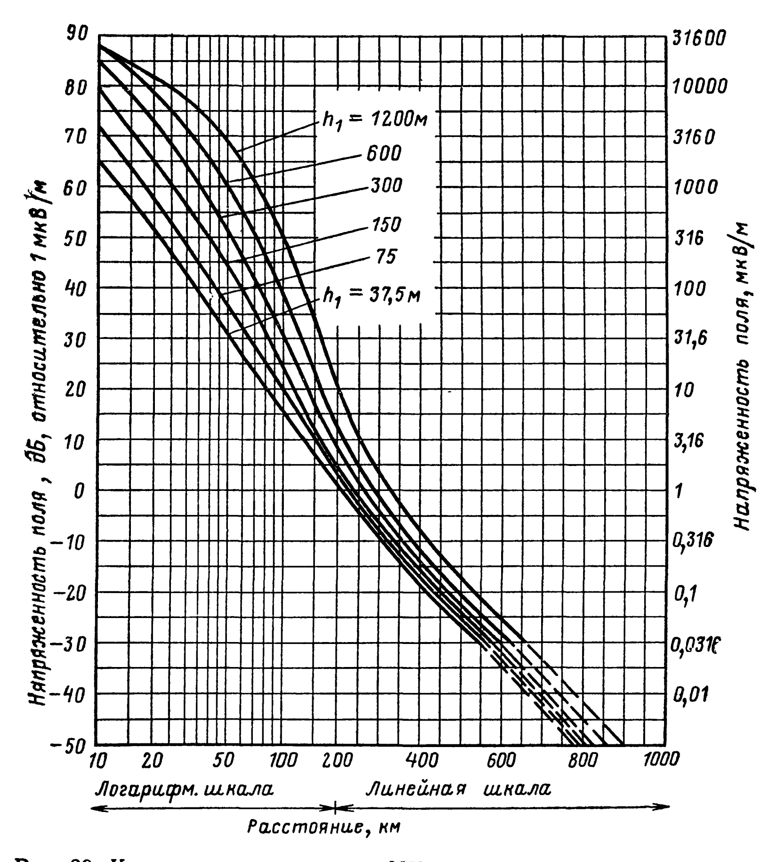


Рис. 29. Кривые распространения МККР для диапазона частот 30—250 МГц (суша и Северное море). На вертикальной оси показана средняя напряженность поля, усредненная по различным пунктам и времени.

Кривые распространения были получены на основании усреднения многочисленных измерений напряженности поля на обычной холмистой местности. На расстояниях, не превышающих расстояние прямой видимости, разброс отдельных измерений напряженности поля возникает в основном из-за разной высоты мест приема.

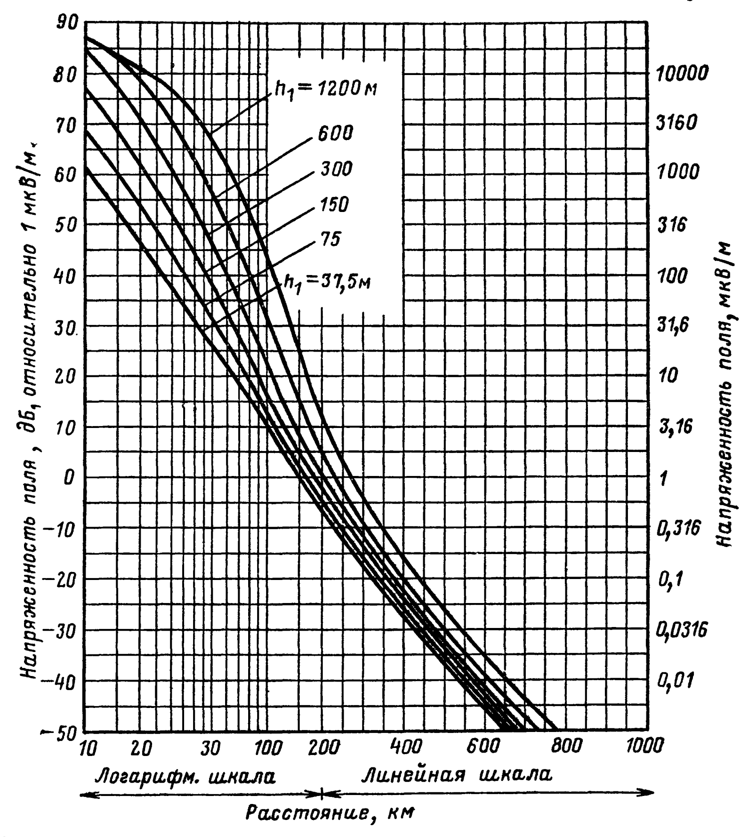


Рис. 30. Кривые распространения МККР для диапазона частот 450—1000 МГц (суша).

В местах приема, расположенных в лесу, за холмами, в низине (по берегам рек и озер), напряженность поля, как правило, в 2—3 раза ниже, чем указано на кривых, а при приеме на возвышенностях — во столько же раз больше. Для сильно пересеченной местности напряженность поля может отличаться от среднего значения в 5—10 раз.

На расстояниях прямой видимости и более начинают сказываться колебания уровня сигнала во времени, так как в подобных случаях на распространение радиоволн начинает влиять атмосфера

(подробнее об этом будет сказано дальше). Кривые распространения (МККР) показывают напряженность поля, усредненную не только по различным точкам приема, но и по времени. В разные периоды времени напряженность может меняться, а в среднем (в 50% времени года) равна значениям, указанным кривыми.

Высота приемной антенны, как было сказано, играет не последнюю роль. Опыты показывают, что снижение приемной антенны с 10 до 3 м приводит к уменьшению напряженности поля в среднем в 2 раза. Применение кривых распространения МККР для оценки напряженности поля иллюстрируется следующим примером.

Пример. Расстояние до передающей телевизионной станции $R=70$ км. Высота передающей антенны $h_1=300$ м, приемной — $h_2=3$ м. Мощность излучения станции $P=350$ кВт. Станция работает в каналах МВ диапазона. Пункт приема находится в низине, местность обычная, пересеченная. Требуется определить напряженность поля в месте приема.

По графику на рис. 29 для $h_1=300$ м, $R=70$ км, $h_2=10$ м и $P=1$ кВт находим $E=40$ дБ (100 мкВ/м). На 350 кВт излученной мощности согласно (26) имеем: $E=100\sqrt{350}=1870$ мкВ/м. Поскольку высота антенны меньше 10 м, расчетную напряженность поля уменьшаем вдвое, тогда $E=935$ мкВ/м. Так как пункт приема находится в низине, следует еще уменьшить поле в 2—3 раза, т. е. до 310—467 мкВ/м.

Выбор и установка приемной антенны на холмистой местности, равно как и на любой другой, имеют большое значение для качества изображения. Неудачно выбранная антенна или неправильная ее установка могут свести на нет качество изображения в самых лучших моделях телевизоров. Сразу отметим, что если имеется возможность подключить к телевизору антенну коллективного пользования, то это — лучший вариант. Коллективные антенны заводского изготовления работают, несомненно, лучше любых самодельных антенн. Для индивидуального приема владельцы телевизоров зачастую используют многоканальные антенны. Они, конечно, удобны благодаря простоте конструкции, но не надо забывать их недостатки. Из-за незначительного коэффициента усиления и часто недостаточной помехозащищенности такие антенны нецелесообразно устанавливать в местах приема, расположенных вблизи границы зоны обслуживания и там, где напряженность поля находится «на пределе». Малейшая помеха от автотранспорта, радиоприемника или от других каких-либо источников будет заметна на экране.

Многоканальные антенны можно рекомендовать только на расстояниях до 0,6—0,8 $R_п$. В затрудненных условиях приема разумно использовать антенны с коэффициентом усиления около 4—5 для телевизионных каналов с 1-го по 5-й и с коэффициентом 8—10 для каналов с 6-го по 40-й. Применение антенн с более высоким коэффициентом усиления связано с известными трудностями. На длинных волнах «телевизионного» диапазона многоэлементные сложные антенны получаются громоздкими, на более коротких волнах требуется весьма тщательное выполнение их конструкции.

Надо иметь в виду, что существуют помехи, от которых очень трудно избавиться даже путем замены простых антенн сложными. К таким помехам относятся сигналы, создаваемые удаленными телевизионными станциями. Эти помехи возникают периодически и сказываются больше всего в тех местах приема, где напряженность по-

ля местной станции мала и применяют высокочувствительные приемные устройства. Физика дальнего прохождения телевизионных сигналов будет изложена ниже. Здесь мы только отметим, что помехи — сигналы от телевизионных станций, расположенных на расстоянии около 100—1000 км от телевизора, возникают в результате аномальных (необычных) условий распространения волн в тропосфере, а на расстоянии 1000—7000 км — в верхних, ионизированных слоях атмосферы, называемых ионосферой. Аномальное прохождение радиоволн в тропосфере чаще всего можно заметить летом (в ночные часы) в ясную безветренную погоду при высоком атмосферном давлении. Помехи при прохождении волн в ионосфере наблюдаются летом в дневные часы. Борьба с помехами от дальних станций возможна только в том случае, когда мешающая станция находится в стороне от направления прихода сигнала принимаемой местной станции. Подключение остронаправленной антенны уменьшает влияние помехи.

Также трудной представляется борьба с помехами, возникающими при пролете самолета вблизи приемной антенны. Вследствие интерференции прямой и отраженной от самолета волн на экране телевизора наблюдается периодическое колебание контрастности изображения. Колебания плавно спадают при вылете самолета из области действия главного лепестка диаграммы направленности антенны. Использование приемной антенны с узким главным лепестком уменьшает эффект воздействия помехи, но не исключает ее совсем.

Если для данной местности особенности телевизионного приема известны, то можно дать некоторые советы по установке антенн для различных каналов, помещаемых на одной стойке. При явной прямой видимости на верху стойки желательно устанавливать антенну, которая работает на более длинных волнах. В явно затененных местах приема целесообразно поступить наоборот. По возможности антенну следует отнести подальше от экранирующего препятствия и сориентировать не только в горизонтальной, но и в вертикальной плоскости.

При установке приемной антенны за лесом на расстоянии, меньшем пятикратной высоте деревьев, могут наблюдаться максимумы и минимумы поля, которые образуются в результате сложения радиоволн, обогнувших лес и прошедших через листву. Так, опыт приема телевидения в Подмосковье показал, что подобное явление возникает в некоторых местах приема на частоте 11-го канала. Очевидно, в таком случае надо поискать оптимальное положение антенны, перемещая ее по высоте с одновременным контролем качества изображения на экране телевизора. Интерференционная картина поля исчезает, как только антенну помещают в сторону с открытым передним планом или дальше от края леса.

Как правило, на холмистой местности, в деревнях и поселках при достаточном уровне сигнала качество изображения оказывается удовлетворительным. Наблюдаемые порой повторные изображения возникают из-за отражения радиоволн от леса, линий электропередачи или от высоких опор радиорелейных линий. Отражения могут быть во время приема телевидения в овраге. С одной стороны, здесь мал уровень полезного сигнала, с другой — вероятны отражения от склонов (рис. 31). Влияние отраженных сигналов можно уменьшить, применив антенну с большей степенью направленности, а также подбором оптимального положения антенны. Вращая антенну

вокруг оси мачты, следует найти такое ее положение, при котором повторные изображения менее заметны.

Помимо использования высоконаправленных антенн в трудных условиях приема телевидения используют в некоторых случаях специальный антенный усилитель. Антенный усилитель полезен только в том случае, когда на выходе антенны имеется сигнал, заметно превышающий уровень шумов. Усилитель рекомендуется подключать при малоконтрастном неустойчивом изображении, при нарушении в цветопередаче в цветном телевизоре или пониженной громкости. Если он установлен рядом с телевизором, качество изображения может зависеть от взаимного расположения телевизора и уси-

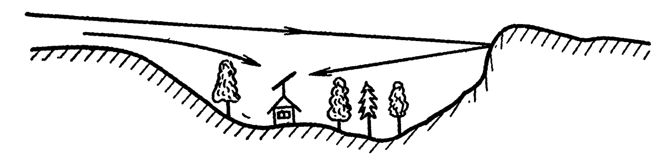


Рис. 31. Возможные траектории радиоволн в овраге.

лителя. По этой причине при просмотре передачи желательно испробовать несколько вариантов расположения усилителя относительно телевизора. При низком к. п. д. фидера ($\eta<0,5$) желательно усилитель подключить между антенной и фидером. Для индивидуального приема, например, выпускают транзисторный усилитель УТ-1-12 (производства Рижского завода полупроводниковых приборов). Коэффициент усиления этого прибора по всем 12-ти каналам не хуже 15 дБ (5—6 раз по напряжению).

В сельской местности необходимо обратить внимание на заземление антенны. Антенна должна иметь гальваническую связь с Землей для защиты от грозовых разрядов и разрядов статического электричества. Такое заземление наилучшим образом обеспечивается в антенне типа «волновой канал», в которой активный вибратор соединен со стойкой. Стойка должна соединяться с заземлением медным проводом сечением не менее 3—4 мм. Заземление делают, например, из старого оцинкованного ведра, которое закапывают на глубину 1—2 м.

Особенности приема вертикально поляризованных волн. До недавнего времени все передающие телевизионные станции Советского Союза работали с горизонтальной поляризацией волн. Поскольку число станций из года в год возрастает, часть из них будет работать, и некоторые уже работают с вертикальной поляризацией волн. Это необходимо для уменьшения влияния взаимных помех при введении дополнительных каналов телевизионного вещания. Возникновение такого рода помех поясним следующим примером. Пусть в некоторой области телезрители принимают станцию *А*, работающую с горизонтальной поляризацией в 3-м канале. В соседней области построили станцию *Б*, которая работает с той же поляризацией в 4-м канале. Частоты 3-го и 4-го каналов мало различаются, поэтому телезрители, принимающие станцию *А*, замечают помеху от станции *Б*, а телезрители, принимающие станцию *Б*, видят помеху от станции *А*. Влияние помехи уменьшится, если станции будут работать с различной поляризацией. Действительно, приемная

антенна, вибраторы которой горизонтальны к земле, слабо принимает вертикально поляризованные волны, и наоборот.

Вертикальную поляризацию широко используют для телевизионного вещания во многих странах, несмотря на возникающие здесь технические трудности. Дело в том, что вертикально поляризованные волны отражаются от местных предметов сильнее, чем горизонтально поляризованные. Для уменьшения воздействия отраженных волн приходится применять сравнительно остронаправленные антенны.

Сильное отражение вертикально поляризованных волн от местных предметов некоторые специалисты объясняют влиянием высоких металлических конструкций, таких, как, например, высоковольтные столбы, антенные мачты и водосточные трубы. Однако и при отсутствии таких конструкций этот эффект остается. Это можно объяснить следующим. Деревья и здания для УКВ являются диэлектриками, отражение от них будет зависеть от поляризации примерно так же, как и при отражении от Земли (см. рис. 5). При использовании вертикально поляризованных волн вектор электрического поля параллелен стволам деревьев и стенам зданий, поэтому отражение от них происходит по закону горизонтальной поляризации, т. е. более интенсивно.

Отраженные сигналы чаще проявляют себя при приеме телевидения в МВ диапазоне. На экранах телевизоров порой просматриваются вертикальные полосы — «столбы». На ДМВ вероятность появления повторных изображений меньше и полос обычно не бывает.

Установка антенны для приема сигналов с вертикальной поляризацией имеет свои дополнительные особенности. Так, кроме устранения влияния металлической стойки на ее диаграмму направленности (как это показано на рис. 11) необходимо правильно проложить кабель снижения во избежание искажения диаграммы направленности. Кабель можно проложить вдоль стрелы и стойки. Выбор места установки и ориентировку антенны производят тщательнее, чем при горизонтальной поляризации. При этом обязательно нужен контроль по изображению на экране телевизора.

Если сбоку от антенны находится лес, то возможна интерференция прямой волны и волны, отраженной от леса. При этом наилучшее положение следует поискать, перенося антенну вдоль направления приема и перпендикулярно этому направлеиию. Благоприятный прием можно гарантировать лишь при условии отсутствия явного препятствия перед приемной антенной. Если с одной «простой» антенной повторные изображения не устраняются, устанавливают сдвоенную антенну [7—9].

Помеха от соседней станции, работающей с другой поляризацией, может проявляться из-за того, что приемная антенна расположена слишком близко к крыше, проводам или стене здания. При удалении антенны от посторонних предметов влияние помехи должно уменьшаться. Чем больше коэффициент усиления антенны и чем просторнее местность вокруг антенны, тем сильнее подавляется помеха. В лучшем случае напряжение помехи должно быть ослаблено в 10 раз, в худшем — в 2 раза.

После выбора оптимального положения антенны ее нужно закрепить понпрочнее. В противном случае порывы ветра могут развернуть антенну и испортить изображение. В подавляющем большинстве случаев в деревнях и поселках качество приема получается удовлетворительным независимо от вида поляризации.

ПРИЕМ ТЕЛЕВИДЕНИЯ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

Значительная часть территории Советского Союза занята горными районами, поэтому условия приема телевидения в горах представляют большой интерес. Распространение УКВ в горах во многом отличается от распространения на равнинно-холмистой местности. Многообразие горного рельефа может создать прямую видимость на очень большое расстояние и сильно ограничить зону действия передающих станций. Несмотря на то что передающие станции устанавливают на горных вершинах, некоторые селения, расположенные в узких долинах между горными хребтами, попадают в область глубокой тени. В горах иногда используют явление «усиления за счет препятствия».

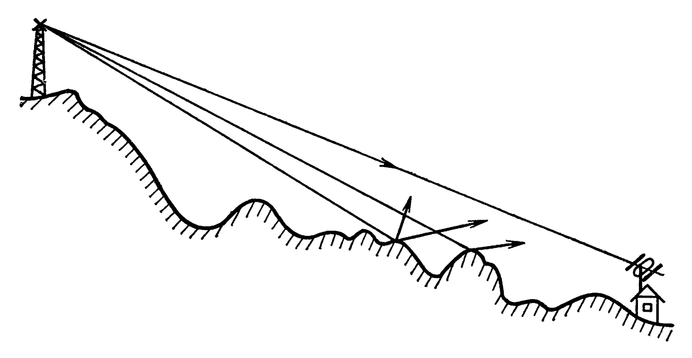


Рис. 32. Схема дальнего распространения УКВ в горах.

Прием телевидения на большом расстоянии (100—200 км) достигается при установке антенны передающей станции на большой высоте (рис. 32). На такой трассе принятые сигналы оказываются довольно устойчивыми во времени по сравнению с приемом на равнинно-холмистой трассе такой же длины. Благодаря большому просвету искривление траектории луча вследствие рефракции не изменяет условий приема. Отраженный от земной поверхности луч обычно ослаблен вследствие сильной изрезанности рельефа местности. При дальнем приеме с прямой видимостью напряженность поля рассчитывают по (7). Множитель ослабления V ориентировочно принимают равным 0,5.

Для объяснения эффекта «усиления за счет препятствия» обратимся к рис. 33. На рисунке показаны две закрытые (нет прямой видимости между антеннами) трассы одинаковой длины с одинаковыми высотами антенн. Как это ни парадоксально, на второй трассе с горным хребтом напряженность поля УКВ может быть в десятки и сотни раз больше, чем на первой.

Элементарное объяснение этого эффекта заключается в следующем. Радиоволны на первой трассе проходят весь путь в непосредственной близости от земной поверхности и везде претерпевают поглощение. На второй трассе (с горным хребтом) радиоволны проходят путь вдали от поверхности Земли (ABC). Ослабление происходит только при огибании экранирующего препятствия. Кроме того, интенсивность принимаемого поля может возрастать за счет

отражения волн от земной поверхности. Поле в точке приема выражается суммой четырех волн, распространяющихся по путям *ABC*, *ADBC*, *ABEC* и *ADBEC*, амплитуды и фазы которых зависят от геометрии трассы и коэффициента отражения от поверхности Земли.

При благоприятных геометрических соотношениях, когда фазы всех четырех лучей в месте приема одинаковы, результирующее поле будет в 4 раза превышать напряженность поля одного луча *ABC*. Несмотря на то что «усиление» относительно гладкой трассы может быть велико, абсолютное значение напряженности поля в месте

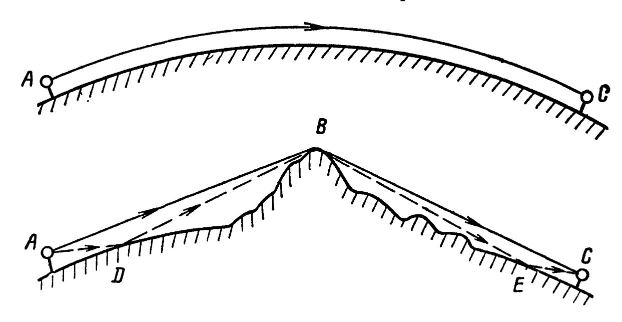


Рис. 33. К объяснению эффекта «усиления за счет препятствия» (вверху показано дифракционное распространение УКВ вокруг сферы Земли, внизу — на трассе такой же длины, но с препятствием).

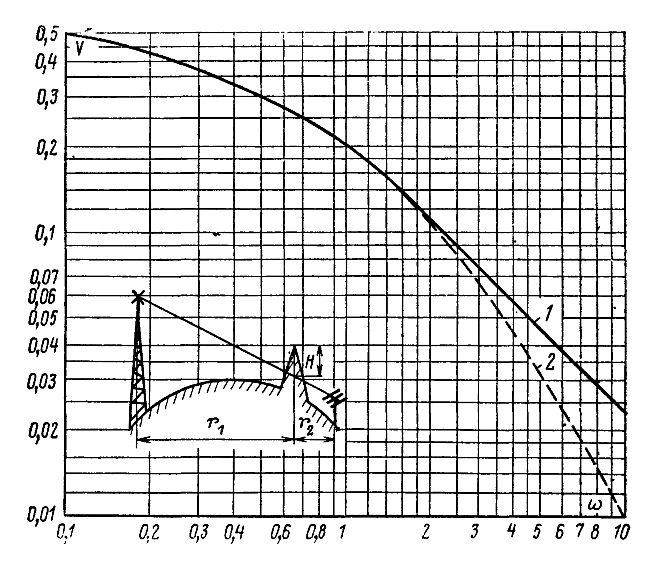


Рис. 34. Графики для расчета ослабления радиоволн клиновидным препятствием.

Кривая *1* — для идеального клина; кривая *2* — для реальных клиньев.

приема далеко не всегда оказывается достаточным для уверенного приема телевидения. На расстоянии 20—200 км от передающей станции при высоте хребтов 300—3000 м значение множителя ослабления на МВ V лежит в пределах 0,01—0,05.

Для возникновения эффекта «усиления препятствием» важно, чтобы с вершины экранирующей горы были «видны» антенны передатчика и приемника. Наряду с отражением радиоволн от Земли могут возникнуть отражения от неровностей профиля хребта или даже от соседнего хребта. Многолучевость приводит, естественно, к образованию случайно расположенных интерференционных максимумов и минимумов напряженности поля в месте приема. Уровень сигнала подвержен небольшим колебаниям за счет изменчивости погоды, главным образом летом.

Приближенный расчет напряженности поля при расположении пункта приема за горным препятствием может быть сделан с помощью графика на рис. 34. Предварительно надо вычислить параметр ω по формуле

$$\omega = H \sqrt{\frac{2(r_1 + r_2)}{r_1 r_2 \lambda}}, \qquad (27)$$

где H — высота горного препятствия выше линии, проходящей через точки передачи и приема; r_1 — расстояние от передающей станции до вершины горы, м; r_2 — расстояние от точки приема до вершины горы, м; λ — длина волны, м.

Кривая *1* определяет значение множителя ослабления для препятствия, имеющего форму идеального клина. В природе чаще встречаются горные вершины с плоской вершиной. Они вносят несколько большее ослабление, что отражено кривой *2*, построенной по данным экспериментов.

Графики на рис. 34 позволяют рассчитать ослабление за любым «непрозрачным» одиночным препятствием, толщина которого намного меньше длины трассы: за холмом, зданием и т. д. Способ расчета поясним следующим примером.

Пример. Приемная антенна затенена одиночным высоким утесом. Расстояние от вершины утеса до приемника $r_2 = 1,5$ км, а до передатчика $r_1 = 18,5$ км. Толщина утеса у основания несколько километров, на вершине — несколько десятков метров. Значение H (практически это высота препятствия над высотой приемной антенны) равно 150 м. Передающая станция работает на частоте 12-го телевизионного канала ($\lambda = 1,32$ м).

Вычисляем параметр ω по (27):

$$\omega = 150 \sqrt{\frac{2(1,5 + 18,5)\, 10^3}{1,5 \cdot 18,5 \cdot 10^6 \cdot 1,32}} \approx 5.$$

По кривой *2* на рис. 34 находим, что $V = 0,03$. Далее расчет напряженности поля проводится, как всегда, с помощью формулы (*7*).

Выбор места установки приемной антенны в гористой местности производят опытным путем. В поисках лучшего положения антенну переносят иногда на несколько сот метров. При достаточной напряженности поля качество телевизионного изображения оказывается в общем приемлемым для нормального приема. На экране бывают заметны вторичные изображения. Однако

при правильном выборе места расположения антенн и использовании эффективных антенн этот дефект сводится к минимуму.

В гористой местности происходит существенная деполяризация радиоволн. Это значит, что передатчик, работающий с горизонтальной поляризацией радиоволн, может быть принят на антенну, предназначенную для приема вертикально поляризованных волн, и наоборот, так как радиоволны при отражении от склонов гор частично изменяют свою первоначальную поляризацию.

В горах обычно слабо выражена зависимость напряженности поля от высоты подвеса приемной антенны. По данным некоторых исследований подъем приемной антенны с 3 до 10 м дает увеличение напряжения сигнала в среднем в 1,3 раза.

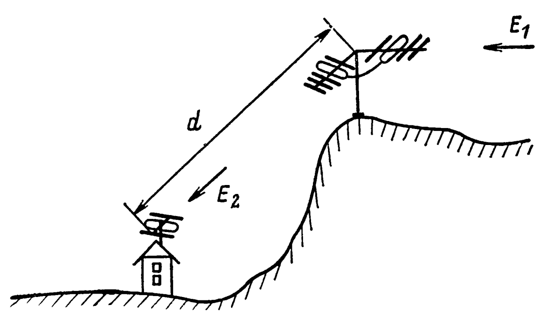


Рис. 35. Принцип работы пассивного ретранслятора, состоящего из двух антенн.

Пассивные ретрансляторы. В населенных пунктах, закрытых горами, для приема телевидения иногда применяют пассивные ретрансляторы. Они представляют собой систему, которая изменяет направление распространения радиоволн, не усиливая их энергию. При этом пассивные ретрансляторы вносят заметное ослабление радиоволн.

На рис. 35 показана простейшая пассивная ретрансляция, выполненная из двух антенн. Антенны соединяют между собой короткой линией. Одна из них, ориентированная на передающую станцию, принимает сигнал в поле с большой напряженностью, другая — излучает этот сигнал в сторону пункта, затененного препятствием. Можно показать, что при одинаковых антеннах напряженность поля в пункте приема определяется формулой

$$E_2 = \frac{\lambda G}{12{,}6d} E_1, \tag{28}$$

где G — коэффициент усиления каждой антенны; d — расстояние от места приема до ретранслятора, м; E_1 — напряженность поля в месте расположения ретранслятора.

Эффективность данного ретранслятора видна из следующего примера.

Пример. Ретранслятор, состоящий из двух антенн с коэффициентом усиления $G=5$, работает на волне $\lambda=1$ м. Расстояние от

ретранслятора до точки приема $d=300$ м. Определим, при какой напряженности поля E_1 ретранслятор будет работоспособным, если минимально допустимая напряженность поля в месте приема $E_2=600$ мкВ/м.

Из (28) находим:

$$E_1 = \frac{12{,}6d}{\lambda G} E_2 = \frac{12{,}6 \cdot 300}{1 \cdot 5} 600 = 453\,000 \text{ мкВ/м} \approx 0{,}45 \text{ В/м}.$$

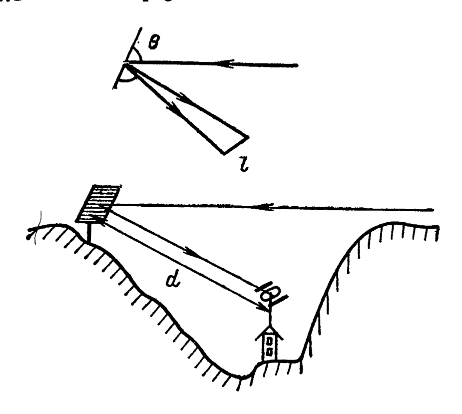


Рис. 36. Принцип работы пассивного ретранслятора в виде металлического зеркала.

Нетрудно понять, что применение пассивного ретранслятора из двух антенн для телевидения весьма ограничено, ибо напряженность поля около десятых долей вольт на метр может быть лишь на расстоянии нескольких километров от передающей станции.

Другая система пассивной ретрансляции показана на рис. 36. Принцип ее действия состоит в том, что радиоволны, излученные телевизионной станцией, попадая на металлическое зеркало, отражаются в сторону пункта приема, находящегося в тени. Напряженности поля в месте приема такой системы определяют формулой

$$E_2 = \frac{S \sin \theta}{d\lambda} E_1, \tag{29}$$

где S — площадь зеркала, м²; θ — угол скольжения волны к зеркалу, град; остальные обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

Расчеты и практика показывают, что применение данной системы возможно в ряде случаев для ретрансляции телевидения. Однако при этом требуются довольно большие размеры зеркал. Необходимые размеры зеркала, как следует из (29), уменьшаются с уменьшением расстояния от зеркала до точки приема и укорочением длины волны. Надо еще иметь в виду то, что увеличение размеров зеркала влечет за собой повышение требований к точности его изготовления и суже-

нию диаграммы направленности. Говоря другими словами, уменьшается ширина области l, в которой возможен прием. Значение l находят по формуле

$$l \approx \frac{1,2\lambda d}{D}, \quad (30)$$

где D — ширина зеркала, м.

Зону приема по вертикали определяют аналогично, только вместо ширины зеркала D в (30) подставляют высоту зеркала, выраженную в метрах. Для уменьшения массы зеркало изготавливают из проволочной сетки любого металла. Размер ячейки сетки не должен быть реже 1/10 λ. Крепление зеркала делают жестким, но предусматривают устройство его поворота при настройке. Иногда рекомендуют для расширения диаграммы направленности зеркала придать ему цилиндрическую форму. Представляется, что при этом эффективность зеркала понизится.

Пример. Площадь зеркала $S=25$ м (5×5 м), $r=250$ м, $\theta=45°$, $\lambda=0,5$ м, $E_1=1500$ мкВ/м. Определим напряженность поля в месте приема E_2 по (29):

$$E_2 = \frac{25 \sin 45° \cdot 1500}{250 \cdot 0,5} = 212 \text{ мкВ/м}.$$

Поскольку зеркало симметрично, ширина области приема по горизонтали будет такая же, как и по вертикали. Согласно (30) $l=1,2 \cdot 0,5 \cdot 250/5=30$ м. Столь малая область позволяет «осветить один дом», на котором можно поставить коллективную антенну.

Пассивные ретрансляторы имеют ряд преимуществ. Для них не нужны источники питания, они просты, дешевы и не требуют постоянного обслуживания. Ретранслятор, представляющий собой «зеркало», позволяет ретранслировать одновременно несколько программ. Однако пассивные ретрансляторы можно применять только при наличии достаточно сильного сигнала и расстоянии от передатчика до ретранслятора, значительно большем, чем от ретранслятора до приемника. На практике более широкое применение находят активные ретрансляторы с усилителем, хотя их стоимость выше и эксплуатация дороже. О таких ретрансляторах речь пойдет дальше.

ПРИЕМ ТЕЛЕВИДЕНИЯ В БОЛЬШОМ ГОРОДЕ

Характер распространения УКВ в большом городе, особенно вблизи передающей станции, очень сложен. Он зависит от частоты и поляризации радиоволн, плотности застройки района и многих других факторов. При наличии прямой видимости передающей антенны в точку приема приходят прямая волна, волны, отраженные от «земли» и окружающих предметов (площадей, улиц, крыш впереди стоящих зданий и даже крыши, на которой расположена приемная антенна), т. е. эхо-сигналы (рис. 37). В результате интерференции в месте приема образуются стоячие волны. При изменении высоты подвеса антенны уровень сигнала случайным образом возрастает и падает (рис. 38). То же наблюдается при перемещении антенны поперек трассы (рис. 39) и вдоль направления приема. Чем короче длина волны канала, тем чаще наблюдаются такие колебания сигнала.

Если передающая станция работает с горизонтальной поляризацией волн, то наибольшие колебания сигнала обычно наблюдаются при изменении высоты подвеса антенны. При вертикальной поляризации и наличии высоких строений около приемной антенны наибольшие колебания сигнала отмечаются при переносе антенны перпендикулярно направлению приема. Объясняется это тем, что горизонтально поляризованные волны сильнее отражаются от Земли, а вертикально поляризованные — от различных протяженных по высоте предметов (стены зданий, заводские трубы и т. п.).

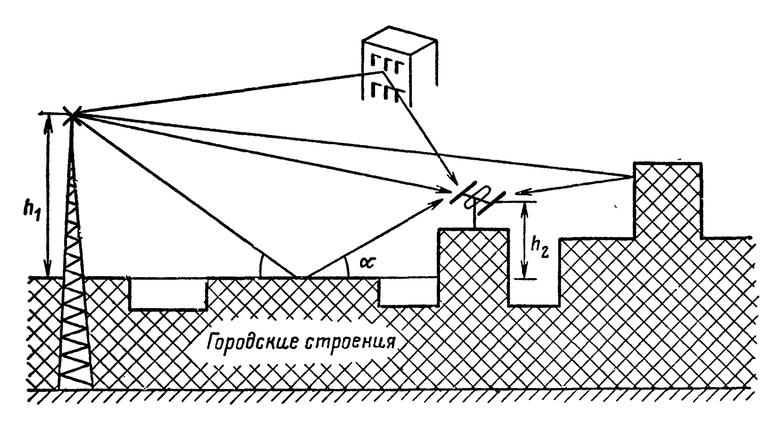


Рис. 37. Распространение телевизионных сигналов в городе при наличии прямой видимости.

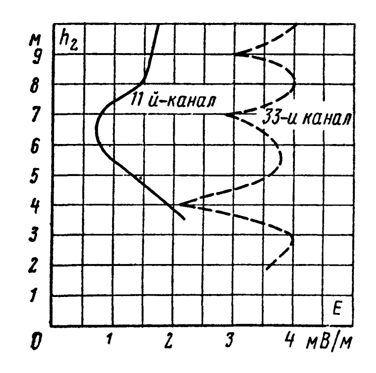


Рис. 38. Изменение напряженности поля сигнала E при перемещении приемной антенны по высоте (R=5 км; h_1=500 м; поляризация волн горизонтальная).

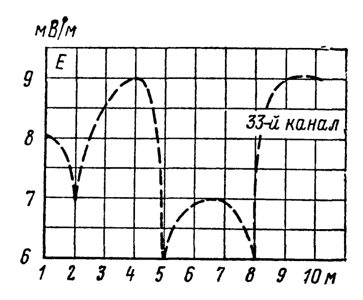


Рис. 39. Изменение напряженности поля сигнала E при перемещении антенны в горизонтальной плоскости (R=5 км; h_1=500 м; h_2=3 м; поляризация волн горизонтальная).

Колебания уровня сигнала при переносе антенны вдоль направления приема проявляются преимущественно в тех случаях, когда за антенной находится высокое здание, отражающее радиоволны.

Волны, отраженные от «земли» и близкорасположенных предметов (на расстояниях менее 50 м), влияют главным образом на напряженность поля в точке приема. В редких случаях они могут вызвать лишь окантовку изображения и искажение амплитудно-частотной характеристики тракта распространения. Окантовка может быть при установке приемной антенны на крыше высотного здания рядом с передающей станцией. При этом получается уже заметная разность хода между прямой и отраженной от «земли» волнами. Искажение амплитудно-частотной характеристики возможно в тех случаях, когда отраженная волна имеет такую же интенсивность, как и прямая. Различимые повторные изображения создают эхо-сигналы

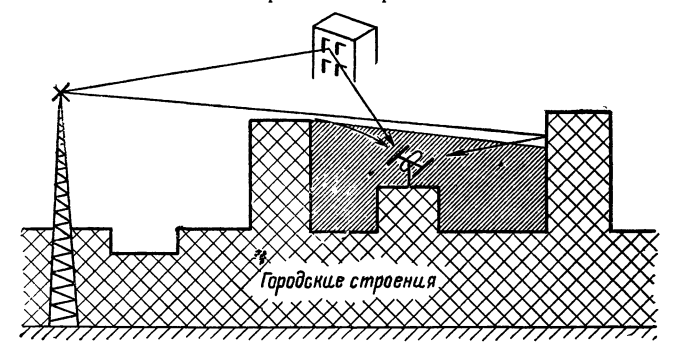


Рис. 40. Распространение телевизионных сигналов в городе при установке приемной антенны в тени здания.

от возвышающихся сооружений, расположенных в радиусе примерно 0,05—2 км от приемной антенны. Вероятность их появления высока в районах города, застроенных зданиями различной высоты. Повторные изображения зачастую возникают при установке антенны в тени препятствий, особенно при вертикальной поляризации волн. В тени препятствия антенна принимает ослабленный полезный сигнал (рис. 40). Естественно, что прежде скрытые отраженные сигналы, шумы и помехи становятся более заметными. Не случайно зону тени называют иногда «зоной помех».

Для того чтобы лучше себе представить условия приема телевидения с вертикальной поляризацией волн, рассмотрим прием на автомашине с телевизором марки «Юность». Антенна телевизора представляет собой вертикальный штырь, который, как известно, не обладает направленными свойствами в горизонтальной плоскости. При движении по улицам города изображение было удовлетворительным на тех улицах, где была видна передающая антенна. Там, где антенна была закрыта городскими строениями, в левой части экрана появлялись вертикальные полосы всевозможных оттенков от светлого до черного. Во время движения автомашины полосы перемещались по экрану. На некоторых улицах (через определенные интервалы) изображе-

ние исчезало в шумах и одновременно возникали вертикальные полосы. Из этого примера очевидно, что при вертикальной поляризации волн для удовлетворительного приема важно наличие прямой видимости и направленной приемной антенны.

Вертикальные полосы представляют собой строчные бланкирующие импульсы, приходящие с большим запаздыванием. В каналах, работающих на ДМВ, повторные изображения возникают довольно редко. Отчасти это происходит потому, что местные предметы в большинстве случаев имеют неровную отражающую поверхность и ДМВ отражаются от них слабее, чем МВ, отчасти потому, что на ДМВ обычно используют более направленные антенны.

В многоэтажных жилых зданиях телевизоры подключают к общей антенне. Если здание расположено вблизи телецентра и передающая антенна видна через окна, то на телевизионных экранах могут быть заметны повторные изображения, расположенные слева от основного изображения. Левое повторное изображение возникает чаще всего от сигнала, который проникает через окна прямо на вход телевизора; по времени он приходит раньше сигнала от системы коллективного приема. Проникновение сигнала через окна возрастает с увеличением частоты. Для каналов с 1-го по 3-й среднее ослабление при «входе в здание» составляет в среднем 20 дБ, для каналов с 4-го по 12-й — около 10 дБ.

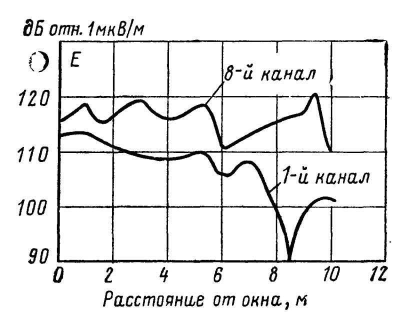


Рис. 41. Напряженность поля в комнате на 7-м этаже здания.

На рис. 41 для иллюстрации показан характер распределения напряженности поля в комнате семиэтажного здания, расположенного в 5 км от передающей телевизионной станции (высота приемной антенны 1,5 м). Можно видеть наличие случайно расположенных максимумов и минимумов поля, обусловленных многократным отражением волн от стен комнаты. Поле внутри помещения неустойчиво. Характер распределения поля изменяется при входе и выходе из помещения и зависит от перестановки некоторых предметов. В помещении нижних этажей сказывается влияние проходящего городского транспорта.

Напряженность поля от передающих телевизионных станций в условиях города может быть определена только ориентировочно. Расчет, как всегда, проводят по формуле (7). Если с места установки приемной антенны просматривается верхняя часть башни передающей станции, множитель ослабления ориентировочно принимают равным 0,5.

В тени зданий напряженность поля резко падает, особенно на ДМВ. В тех случаях, когда антенна находится в тени одиночного здания, без которого антенна передающей станции была бы хорошо видна, значение V можно оценить по графику на рис. 34.

После расчета напряженности поля по (7) следует проверить, попадает ли точка приема в зону, где излучение происходит за счет боковых лепестков диаграммы направленности передающей антенны

(см. рис. 9). Если попадает, то рассчитанное значение напряженности поля следует еще уменьшить примерно в 7 раз. Для телевизионных передающих антенн МВ диапазона радиус «зоны боковых лепестков», в километрах, равен:

$$R_л \approx 0{,}007\,(h_1 - h_2), \tag{31}$$

для ДМВ диапазона

$$R_л \approx 0{,}02\,(h_1 - h_2), \tag{32}$$

где h_1 и h_2 — в метрах.

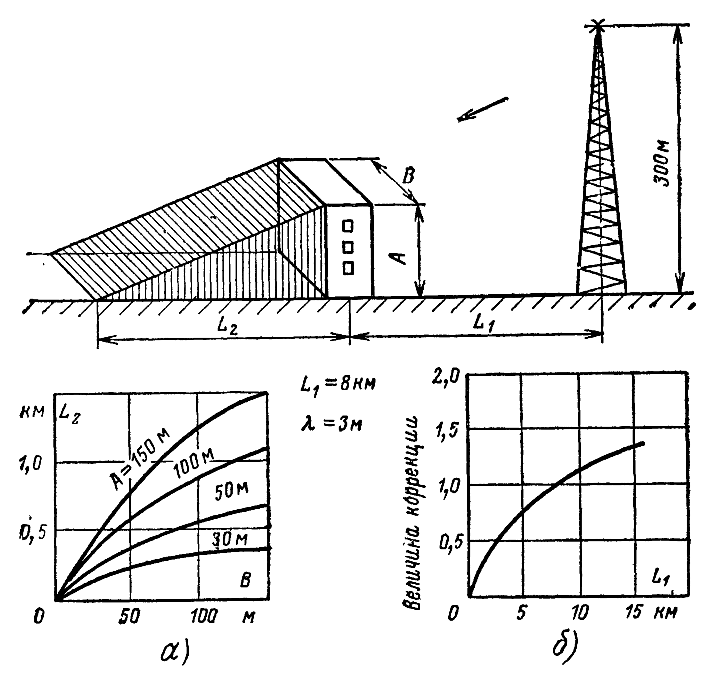


Рис. 42. Графики для расчета «зоны помех» в тени здания.

Пример. Точка приема находится на расстоянии 5 км от передающей станции. Станция работает на 3-м и 33-м каналах. Высота подвеса передающей антенны 500 м, приемной — 50 м.

Радиус зоны, в которой прием ведется от боковых лепестков передающей антенны 3-го канала согласно (31) равен $R_л = 0{,}007(500 - 50) \approx 3$ км, а от передающей антенны 33-го канала согласно (32) $R_л = 0{,}02(500 - 50) = 9$ км. Как видим, рассчитанное значение напряженности поля следует уменьшать только для 33-го канала.

Практика телевизионного приема показывает, что в условиях современной городской застройки понижение полезного сигнала на 6—10 дБ вызывает появление прежде скрытых ложных сигналов.

Эскиз и расчет зоны помех, где прием ведется с ослаблением 10 дБ, показан на рис. 42. Длина зоны помех L_2 меняется в зависимости от высоты A и ширины B здания, являющегося экраном для радиоволн. На длину зоны влияют также высота опоры передающей антенны и расстояние до нее L_1. График на рис. 42, *а* построен для высоты передающей антенны 300 м, расстояния $L_1=8$ км и $\lambda=3$ м. Если L_1 не равно 8 км, длину зоны помех уточняют по рис. 42, *б*.

Пример. Экранирующее здание имеет высоту $A=50$ м, ширину $B=80$ м. Расстояние между зданием и передающей станцией $L_1=12{,}5$ км, $h_1=300$ м, $\lambda=3$ м. Требуется определить длину зоны помех.

Сначала находим L_2, пользуясь графиком на рис. 42, *а*. Получаем $L_2=0{,}5$ км. Далее по графику на рис. 42, *б* определяем коррекцию. Значение коррекции для $L_1=12{,}5$ км равно примерно 1,25. Следовательно, искомая длина зоны помех равна $0{,}5\cdot 1{,}25=0{,}625$ км. Умножив это значение на ширину здания, получим площадь действия помехи. Для приближенной оценки указанный способ пригоден и для других каналов МВ.

Выбор антенны для крупных городов однозначен. Приемные антенны должны иметь хорошее защитное действие по приему обратного и боковых направлений и возможно более узкий главный лепесток диаграммы направленности в горизонтальной плоскости.

Для сложных условий приема телевизионных передач, особенно с вертикальной поляризацией радиоволн, разумно для каждого канала применять свою антенну, настроенную только на этот канал, а также использовать антенны, состоящие из двух полотен. При наличии в доме коллективной антенны целесообразно телевизор подключить к этой антенне. С комнатной антенной, служащей для приема телепередач в МВ диапазоне, редко удается получить приемлемое качество приема по нескольким каналам, а зачастую даже по одному каналу. В ДМВ диапазоне антенна, установленная около окна, при достаточной напряженности поля может обеспечить довольно хорошее качество изображения.

Выбор места установки приемной антенны в городе подобен выбору места в лесистой и гористой местностях. Выбирая местоположение антенны, стремятся повысить отношение уровня полезного сигнала к уровню помех и эхо-сигналов. Предварительно следует проверить, не возникает ли многоконтурность из-за расстройки контуров усилителя высокой частоты и усилителя промежуточной частоты телевизора. Если многоконтурность возникает по такой причине, то при вращении ручки настройки гетеродина расстояние между повторными изображениями будет изменяться. Если причина многоконтурности — эхо-сигналы, вращение ручки настройки гетеродина не будет оказывать никакого влияния на взаимное расположение основного и повторных изображений. Предварительно следует также проверить, не является ли причиной повторных изображений фидерное эхо. Выбор места антенны производят с подключенным телевизионным приемником. Очень хорошо одновременно контролировать уровень сигнала с помощью измерительного приемника, имеющего квазипиковый детектор. С помощью измерительного приемника можно заметить небольшие отклонения уровня сигнала, которые на телевизионном изображении сразу не видны. Уменьшение сигнала в точках минимума поля может быть значительным. На практике встречается любопытная ситуация: телевизор в порядке, передающая антенна видна простым глазом, а прием крайне неудовлетворителен.

Оказывается, антенна находится в минимуме поля. Достаточно сместить ее в каком-либо направлении, и сразу улучшится прием.

Надо подчеркнуть, что для приема телевизионных передач на ДМВ подбор высоты антенны обязателен. Для того чтобы найти оптимальное положение антенны, на этих волнах обычно требуется небольшое перемещение (0,5—2 м). Если нет возможности переставлять антенну по высоте, то можно попробовать перенести ее от одного края крыши к другому по направлению приема сигнала. Когда антенна находится у того края, который ближе к передающей станции, на принимаемое поле оказывает влияние волна, отраженная от «земли». При перестановке антенны к другому краю сказывается влияние волны, отраженной от крыши. Таким образом, при переносе антенны поле меняется скачком либо в большую, либо в меньшую сторону. Благоприятные условия зачастую складываются при установке антенны на краю крыши, который ближе к станции, на небольшой высоте относительно крыши около 0,5—1λ.

На зданиях, расположенных рядом с передающей станцией, приемные антенны направляются прямо на передающую антенну под некоторым углом к горизонтальной плоскости. Они слабо принимают волну, отраженную от «земли», поэтому перемещение антенны по высоте почти не влияет на уровень сигнала.

Борьба с повторными изображениями упрощается, если известно направление прихода эхо-сигналов. К сожалению, определить это направление можно только в случае одного-двух эхо-сигналов. С этой целью на экране телевизора определяют сдвиг между основным и повторным изображениями и с помощью (9), (10) — разность хода прямой и отраженной волн Δr. Если ложный сигнал возникает от какого-либо строения, находящегося сзади антенны, то расстояние до него должно быть равно $\Delta r/2$. Если строение находится справа или слева от приемной антенны, расстояние до него приблизительно равно Δr. При расположении строения в стороне от середины трассы расстояние до него равно:

$$\frac{R}{2}\sqrt{1+\frac{2\Delta r}{R}}\,. \qquad (33)$$

Простой способ уменьшения влияния ложных сигналов — вращение антенны. Вращая антенну, ищут такое положение, при котором вторичные изображения на экране трубки исчезнут совсем или значительно ослабнут. Если вращением антенны не удается добиться заметного эффекта, следует попробовать перенести антенну на другое место и повторить операцию.

Способ подавления эхо-сигнала вращением антенны вокруг оси мачты поясняется на рис. 43. Суть его в том, что антенна ориентируется не по максимуму сигнала, а по минимуму видимости ложных сигналов. Для уменьшения влияния ложных сигналов можно использовать лифтовые и другие надстройки как экраны для отраженных сигналов (рис. 44).

Особого внимания требует установка антенны, принимающей вертикально поляризованные волны. Антенну надо тщательно ориентировать обязательно по изображению и после этого жестко закрепить. Диаграмма направленности антенны может быть искажена из-за влияния посторонних предметов. Поэтому оптимальное положение антенны может не совпадать с направлением на телецентр.

При выборе высоты многоканальной антенны для различных каналов требуются иногда неодинаковые высоты. Такой случай проиллюстрирован на рис. 45. Наивысшая оценка качества изображения в 3-м канале (3, 5 балла) получалась при высоте антенны 4 м, тогда как в 9-м канале — при высоте 6 м. Поскольку высота около 4 м оказалась оптимальной во всех каналах с 1-го по 3-й, а высота 6 м — со 2-го по 12-й, возникла необходимость устанавливать две антенны.

На крышах жилых зданий устанавливают порой десятки антенн. В такой ситуации антенны желательно разнести друг от друга на расстояние не менее 5—10 м. Из практики известен следующий слу-

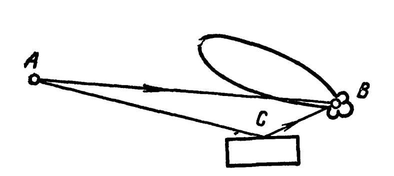


Рис. 43. Способ отстройки от ложного сигнала путем вращения антенны.

Рис. 44. Использование лифтовой надстройки (D) для уменьшения эхо-сигнала.

чай. Впереди приемной антенны на расстоянии 3 м стояла «чужая» антенна. Из-за этой антенны напряжение полезного сигнала было ослаблено, а на экране телевизора видны повторные изображения. При увеличении высоты приемной антенны всего на 1 м повторные изображения практически исчезли.

В тени препятствий большую роль играет высота подвеса приемных антенн. Иногда бывает достаточно поднять антенну на 1—2 м,

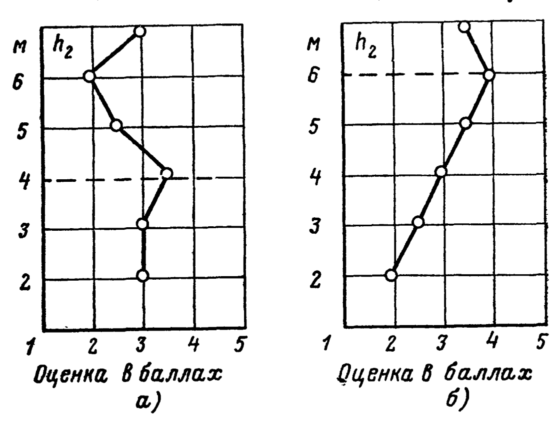


Рис. 45. Изменение качества изображения при увеличении высоты антенн в одном из опытов.

а — в 3-м канале; *б* — в 9-м канале.

чтобы получить заметное улучшение приема. В других случаях приходится поднимать антенну и на бо́льшую высоту или на крышу соседнего, более высокого, здания. Признак того, что антенна находится в тени — относительно слабая напряженность поля в каналах, работающих на более высокой частоте. Очевидно, в этом случае при креплении двух или нескольких антенн к общей мачте целесообразно более высокочастотную антенну устанавливать наверху. Расстояние между соседними антеннами должно быть не меньше 1,2 м. В одном опыте при расстоянии между антеннами 0,9 м прием был

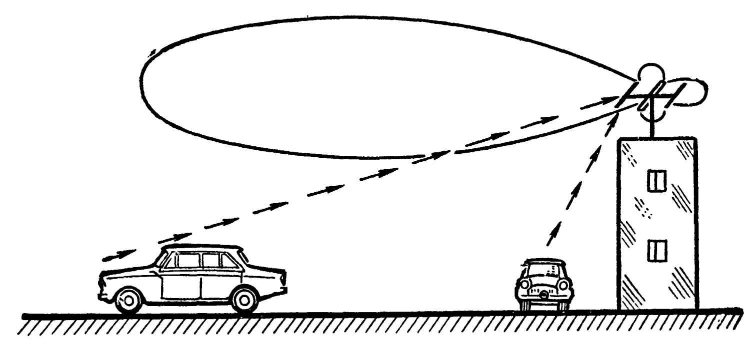


Рис. 46. Воздействие помех от автотранспорта на телевизионный прием.

неудовлетворительным в связи с пониженным уровнем сигнала и наличием повторных изображений. После того как разнос антенн был увеличен до 1,5 м, условия приема явно изменились в лучшую сторону.

Для подавления левосторонних повторных изображений прежде всего следует попробовать изменить местоположение телевизора в комнате. Если перестановка не поможет, следует усилить экранировку входных цепей телевизора. В частности, экранируют цепь от антенного гнезда до переключателя телевизионных каналов, усиливают экранировку самого переключателя. При необходимости применяют для фидера коаксиальный кабель с двойной экранировкой. Для той же цели в системах коллективного приема иногда применяют специальные антенные усилители. Принятый антенный сигнал переносится в них на частоту другого канала. Подача телевизионных программ на этой частоте к абонентам исключает возможность паразитного приема на частоте передающей станции.

Несколько слов о помехах от автотранспорта. При выборе места установки антенны вблизи улицы с интенсивным движением иногда имеет смысл придвинуть антенну поближе к улице. В этом случае помехи от автомобилей попадают в антенну под большим углом и совпадают с нулевой зоной ее диаграммы направленности в вертикальной плоскости. Если антенна ориентирована вдоль шоссе, помехи попадают в антенну при удалении автомобиля (рис. 46).

Здесь было рассказано о самых простейших способах подавления эхо-сигналов. Если они окажутся неэффективными, следует прибегнуть к более сложным способам [7, 9].

ДАЛЬНИЙ ПРИЕМ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Начиная с 1950 г., телезрители стали замечать, что во время приема местных программ телевидения на экране иногда появляются сигналы телевизионных станций, удаленных на сотни и тысячи километров. Вероятно, этот факт был связан с интенсивным развитием сети мощных телевизионных станций во многих странах Европы, включая Советский Союз. В радиолюбительских журналах того времени появились сообщения о приеме Пражского телевизионного

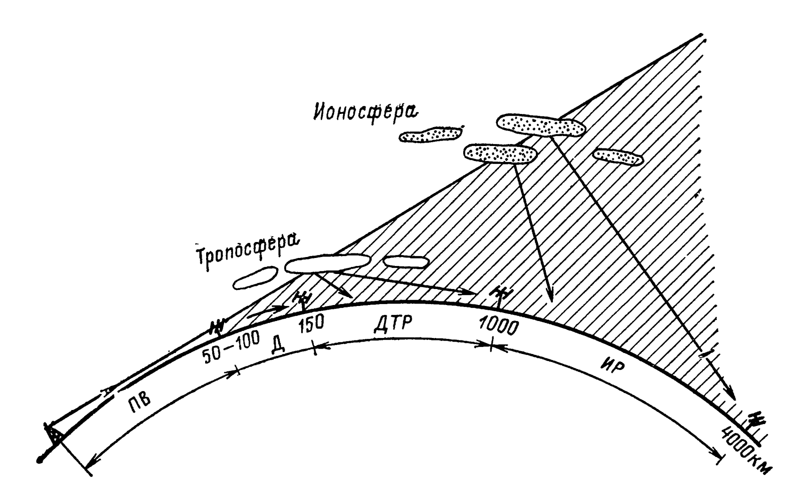


Рис. 47. Дальнее распространение УКВ.

ПВ — зона приема в условиях прямой видимости; *Д* — зона приема, обусловленная дифракцией вокруг Земли; *ДТР* — зона приема за счет дальнего тропосферного распространения; *ИР* — зона приема за счет ионосферного распространения.

центра в Угличе и Рязани, о приеме Московского телевизионного центра в Чехословакии, Голландии и т. д. Отдельные случаи, когда УКВ радиосвязь осуществлялась на расстояниях, значительно превышающих расстояние до горизонта, были известны специалистам еще в начале 30-х годов. При последующем развитии радиотехники такие факты стали быстро накапливаться. Уже после второй мировой войны в результате многочисленных исследований было обнаружено, что условия дальнего приема УКВ неодинаковы и обусловлены различными механизмами распространения.

В области «полутени», т. е. на расстояниях примерно 20—30 км за границей прямой видимости, прием сигналов происходит за счет дифракции радиоволн вокруг Земли не без участия тропосферы. При распространении сигналов на расстояниях около 150—1000 км основную роль играет тропосфера. Сверхдальнее распространение, на расстояниях свыше 1000 км, обязано переизлучению радиоволн более высокими ионизированными слоями атмосферы (рис. 47).

Дальний прием телевидения отмечается, как правило, в первом диапазоне. Характерный признак дальних сигналов — это наличие замираний. Уже около границы прямой видимости можно заметить, что напряжение сигнала плавно изменяется в пределах 10—20%. По мере удаления точки приема в область полутени и тени глубина и длительность медленных замираний возрастают. Это важное обстоятельство приводит к тому, что прием за горизонтом становится неуверенным, или, как говорят, нерегулярным. Вблизи границы зоны обслуживания с соответствующей приемной техникой еще удается принимать телевизионные программы с пониженным качеством. Что касается бóльших расстояний, то прием телевидения здесь бывает только случайным (в короткие периоды времени). Прохождение телевизионных сигналов наступает вследствие случайного возникновения в атмосфере особо благоприятных условий. Когда они исчезают, напряжение сигнала падает в тысячи раз и более. Восстановить прежний уровень сигнала какими-либо техническими усовершенствованиями практически не представляется возможным.

Применение эффективных антенн и высокочувствительного приемного устройства позволяет несколько продлить время приема, но не дает гарантии получить нормальный регулярный прием. Об этом приходится говорить специально потому, что порой встречаются пространные сообщения о систематическом сверхдальнем приеме телевизионных станций с помощью некой оригинальной антенны или сверхчувствительного телевизора. На основании такой информации радиолюбители создают сложные приемные устройства. Но проходит время, и они убеждаются, что их труды и ожидания оказались напрасными.

Сейчас, когда сеть телевизионного вещания получила широкое развитие, «охота» за дальними телевизионными станциями, видимо, потеряла свой прежний интерес. На дальний прием телевидения смотрят уже как на серьезную помеху, возникающую при просмотре местных телевизионных передач. Исключением, пожалуй, является прием телевидения вблизи границы прямой видимости в области полутени, или, как еще говорят, в области дифракции. Здесь часто представляется возможность организовать телевизионный прием, применяя специальную аппаратуру.

ПРИЕМ ТЕЛЕВИДЕНИЯ ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ

Характер зависимости напряженности поля от расстояния при переходе через границу видимого горизонта существенно меняется. На рис. 48 показаны результаты измерений напряженности поля на двух волнах, близких к средней длине волн 5-го и 36-го каналов, на различном расстоянии. Нетрудно видеть, что на расстоянии всего нескольких километров от границы радиогоризонта $R_п$ напряженность поля резко уменьшается. При этом большее ослабление происходит на короткой волне.

В зоне дифракции замирания сигнала в большой степени объясняются изменением рефракции радиоволн. Так, при повышенной рефракции антенна приемника, находящаяся в тени, может оказаться в пределах прямой видимости. При отрицательной рефракции наблюдается обратная картина. Прием может стать невозможным там, где он был при нормальной рефракции.

Повышенная, положительная рефракция наступает, когда коэффициент преломления воздуха убывает с высотой быстрее, чем при нормальном состоянии. Это можно наблюдать при наличии температурной инверсии, которая заключается в том, что в некотором интервале высот атмосферы температура воздуха не убывает с высотой, как обычно, а возрастает. Другая причина быстрого убывания коэффициента преломления — необычно быстрое уменьшение влажности

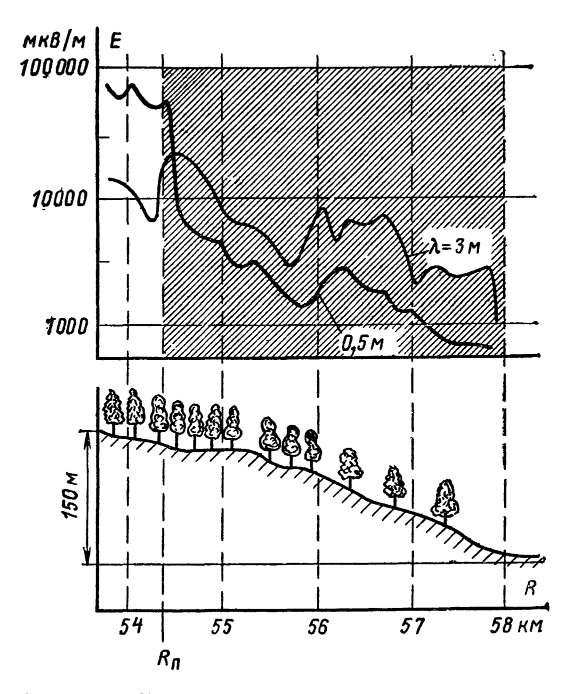


Рис. 48. Характер изменения напряженности поля при переходе через границу прямой видимости ($P=1$ кВт; $h_1=100$ м; $h_2=10$ м).

с высотой. Обе эти причины могут действовать и совместно. Повышенная положительная рефракция радиоволн наблюдается, как правило, при антициклоне, т. е. при высоком атмосферном давлении. Как зимой, так и летом антициклонам часто сопутствует ясная безоблачная погода без осадков и слабого ветра. В районе антициклона происходит оседание (сжатие) воздушных масс, что приводит к их нагреванию и образованию температурной инверсии. Наибольшие сигналы наблюдаются обычно в течение всего периода хорошей погоды. Можно заметить, что в этот период сигнал неустойчив и постоянно колеблется. С наступлением пасмурных, особенно дождливых дней напряжение сигнала резко падает в несколько раз и становится стабильнее.

Кроме рефракционных замираний при дальнем приеме проявляются сезонные изменения сигнала. При распространении радиоволн над степью и морем средний уровень сигнала на 5—10 дБ выше летом, чем зимой. На холмистых трассах это различие уменьшается, а иногда наблюдают даже обратную зависимость. Например, когда антенна затенена лесным массивом и прием ведут в диапазоне МВ, наибольший сигнал отмечается зимой.

Высота подъема антенны телевизора играет большую роль при приеме в зоне дифракции. Закон изменения напряженности поля от высоты антенны получается довольно сложным, вследствие экранирующего влияния неровностей Земли и всевозможных препятствий. Для достижения телевизионного приема в области дифракции обычно стараются поднять антенну выше местных препятствий. Если она к тому же находится в тени выпуклости Земли, то дальнейшее повышение высоты антенны может дать приращение сигнала. Грубо можно считать, что на каждый метр высоты уровень сигнала возрастает на 0,3 дБ. К примеру, если антенна приподнята с 20 до 35 м, то сигнал увеличивается на $15 \cdot 0{,}3 = 4{,}5$ дБ (в 1,7 раза по напряжению).

Экспериментальные и теоретические исследования показывают, что для гладкой земной поверхности напряженность поля резко падает при установке антенны на высотах менее 10 м. Возрастание поля при больших высотах, когда антенна попадает в освещенную область, зависит от длины волны. В частном случае из рис. 49 видно, что максимальный сигнал для $\lambda = 0{,}5$ м имеет место в первом интерференционном максимуме на высоте около 130 м. На волне длиной 5 м поле с высотой возрастает медленнее, так как первый интерференционный максимум для этой волны находится гораздо выше. Зависимость на рис. 49 построена для горизонтальной поляризации и гладкой земной поверхности.

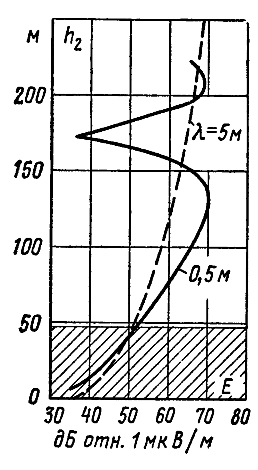


Рис. 49. Характер увеличения напряженности при подъеме приемной антенны в зоне дифракции (горизонтальная поляризация; $P = 1$ кВт; $R = 100$ км; $h_1 = 300$ м).

При вертикальной поляризации волн или при сильно пересеченной местности на трассе отражение волн от «Земли» будет слабее. Очевидно, будет слабее выражена интерференционная структура поля. Заметим, что при установке приемной антенны на небольшой высоте (менее 10 м) уровень сигнала зависит не только от экранирующих местных предметов, но и от используемой поляризации радиоволн.

Если распространение радиоволн происходит над ровной земной поверхностью или над морем, вертикальная поляризация обусловливает бóльшую напряженность поля по сравнению с горизонтальной поляризацией. При распространении радиоволн над местностью, покрытой хвойными лесами, картина может быть обратной, поскольку деревья имеют способность больше рассеивать вертикально поляризованные волны.

Над гладкой земной поверхностью переходу приемной антенны через горизонт (просвету между прямой, соединяющей приемную и передающую антенны, и вершиной препятствия, равного нулю) соответствует высота

$$h_2 = \left(\frac{R}{4,12} - \sqrt{h_1}\right)^2. \qquad (34)$$

Это выражение вытекает из формулы (14). Здесь R также выражено в км, а высоты антенн h_1 и h_2 — в м.

Подсчитаем высоту приемной антенны, при которой она выходит на горизонт, в случае, показанном на рис. 49, т. е. при $R = 100$ км и $h_1 = 300$ м:

$$h_2 = \left(\frac{100}{4,12} - \sqrt{300}\right)^2 = 49\text{ м}.$$

Как видим, для телевизионного приема за пределами прямой видимости требуются довольно высокие опоры антенн.

На неровной, холмистой местности высоту антенны, соответствующую переходу через горизонт, определяют по профилю местности или формуле

$$h_2 = z - z_2 + 0,0589r^2 - \frac{r}{R - r}\left[z_1 - z + h_1 - 0,0589\,(R - r)^2\right], \qquad (35)$$

где z_1 — отметка (высота относительно уровня моря) площадки, на которой стоит башня передающей антенны, м; z_2 — отметка площадки, на которой стоит опора приемной антенны, м; z — отметка наивысшего препятствия между точками передачи и приема, м; r — расстояние от точки приема до наивысшего препятствия, км.

Значения z_1, z_2, z и r определяют на прямой линии, проведенной по топографической карте от пункта передачи к пункту приема. Значение z включает в себя высоту местности и экранирующих предметов на ней. Точность вычисления высоты подвеса антенны зависит от точности определения отметок. Формула (35) выведена с учетом нормальной рефракции.

Пример. Известно, что высота подвеса передающей антенны равна 300 м. По топографической карте определяем: расстояние от точки передачи до точки приема равно 100 км, отметка основания башни передающей антенны $z_1 = 180$ м, отметка местности приемного пункта $z_2 = 150$ м, расстояние до наивысшего препятствия на трассе от точки приема $r = 12$ км. Отметка препятствия равна 150 м, на вершине препятствия расположены каменные постройки высотой 50 м (район города). Требуется найти высоту подвеса приемной антенны, при которой она выходит на горизонт.

Учитывая, что общая высота препятствия $z = 150 + 50 = 200$ м, решение находим с помощью (35):

$$h_2 = 200 - 150 + 0,0589 \cdot 12^2 - \frac{12}{100 - 12}\,[180 - 200 +$$

$$+ 300 - 0,0589\,(100 - 12)^2] = 82,6\text{ м}.$$

Напряженность поля в зоне полутени можно оценить по кривым распространения МККР. Кривые дадут более или менее правильный результат, если приемная антенна не закрыта

близко расположенным препятствием. Как уже было сказано, кривые распространения указывают значение напряженности поля, усредненное по различным пунктам приема и времени, т. е. для 50% пунктов и для 50% времени. Уверенный телевизионный прием будет при условии, если во время замираний уровень сигнала не опускается ниже некоторого минимально допустимого значения. Поскольку в реальных условиях дальнего приема такое требование не выполнимо, интересно оценить надежность приема.

Надежность приема оценивают процентом времени, в течение которого возможен прием. Процент времени берут от годового периода. Так, если мы определили, что надежность равна 80% времени, то это значит — прием можно ожидать в течение 0,8·8640= =6912 часов (8640 — число часов в одном году).

Расчет надежности сводится к следующему: с помощью кривых распространения МККР рассчитывают среднее значение напряженности поля сигнала E, дБ, определяют минимально допустимую напряженность поля $E_{доп}$, дБ, исходя из желаемого качества приема, рассчитывают запас уровня сигнала на компенсацию замираний, дБ, по формуле

$$B = E - E_{доп}, \qquad (36)$$

определяют по графику рис. 50 процент времени, в течение которого можно ожидать прием телевидения.

Показанный расчет надежности является приближенным и справедливым только в зоне дифракции. На больших расстояниях будут сказываться быстрые замирания сигнала, поэтому подход к определению надежности должен быть иным. Точное определение надежности затруднено тем, что здесь замешаны многие факторы: географические, климатические и метеорологические. Кроме того, ввиду малости полезного сигнала на надежность дальнего приема оказывают влияние всякого рода помехи. Так, летом нарушение телевизионного приема в 1-м диапазоне часто связано с приходом сигналов от далеко расположенных станций. Анализ ряда наблюдений показывает, что на сухопутных трассах прием телевидения в области полутени возможен приблизительно в течение 300 дней в году. На морских трассах условия приема будут, несомненно, лучше.

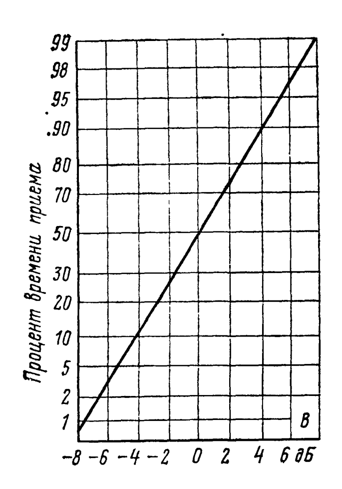


Рис. 50. График для определения надежности приема вблизи зоны обслуживания.

Известно, что эстонские радиолюбители довольно часто принимают телепередачи из Финляндии и Швеции на обычные телевизоры. Расстояние до передающих станций составляет 100—300 км. На расстояниях около 300 км действует иной механизм распространения радиоволн.

Пример. Телевизионная станция работает в 1-м канале с излучаемой мощностью 300 кВт. Высота подвеса передающей антенны над средним уровнем местности 250 м. Высо-

та подвеса приемной антенны 10 м. Перед приемной антенной нет явных препятствий, местность открытая. Подсчитано, что телевизор совместно с антенной нормально работает при напряженности поля в месте приема 320 мкВ/м (50 дБ относительно 1 мкВ/м). Требуется определить надежность приема на расстоянии 100 км от передающей станции.

Первоначально по кривым распространения МККР находим напряженность поля для 50% времени и мощности 1 кВт. Из рис. 30 находим $E' \approx 28$ дБ, т. е. 25 мкВ/м.

При мощности излучения 300 кВт напряженность поля будет равна (см. формулу 26) $E=25\sqrt{300}=433$ мкВ/м (52,5 дБ). По (36) запас уровня сигнала на компенсацию замираний составит $B=$ $=52{,}5-50=2{,}5$ дБ. При таком запасе, как следует из рис. 50, прием можно ожидать в 78% времени, т. е. в общей сложности около 6700 час за год.

Если поднять антенну с 10 до 20 м, уровень сигнала подрастет, грубо говоря, на $10 \cdot 0{,}3=3$ дБ. Запас на замирания увеличится до 5,5 дБ, а надежность приема — до 95%. При снижении антенны до 3 м напряжение сигнала упадет примерно в 2 раза, т. е. на 6 дБ, и станет равным $52{,}5-6=46{,}5$ дБ. Запаса на замирания не будет, так как $B=46{,}5-50=-3{,}5$ дБ. Сигнал будет принят лишь в течение 15% времени.

Снижение антенны, как видим, может быть эффективным средством для подавления помехи от соседней станции в тех случаях, когда точка приема находится в области дифракции мешающей станции и в области прямой видимости для полезного сигнала.

Таким образом, надежность приема телевидения в области дифракции существенно зависит от выбора высоты подъема антенны, эффективности антенны и чувствительности приемного устройства. Однако прежде чем создавать сложные приемные устройства, целесообразно провести небольшую предварительную проверку. Для этой цели надо изготовить самый простой полуволновой вибратор и поднять его на высоту около 5 м. Если при этом на уровне шумов будет разборчивое изображение, то есть надежда добиться приема с использованием более высокой и сложной антенны. Ориентировочный подсчет ожидаемого сигнала исходит из следующих рассуждений.

На телевизионных приемниках II класса изображение на уровне шумов наблюдается при напряжении сигнала около 50 мкВ. При использовании антенны с коэффициентом усиления G напряжение сигнала возрастает в $\sqrt{G}$ раз (8). Так, например, если взять антенну с $G=4$, то на входе приемника будем иметь $50\sqrt{4}=100$ мкВ. Это напряжение еще недостаточно для нормального приема. Чтобы получить необходимое напряжение, надо либо поднимать выше антенну, либо использовать антенну с более высоким коэффициентом усиления.

Для улучшения приема за пределами зоны обслуживания иногда используют систему коллективного телевизионного приема (СКТП). Всем хорошо известна система коллективного приема в многоэтажных домах. Обычно коллективную антенну устанавливают для каждого подъезда. Сигнал от нее через усилитель или без него (при большом уровне сигнала) разводят кабелем по квартирам. При дальнем приеме телевидения приемную антенну выносят на вершину холма или на крышу наиболее высокого здания. Сигнал

после усилителя разводится сначала по домам, снова усиливается и по кабельной сети разводится по квартирам (кабельное телевидение).

Маломощные ретрансляторы. В населенных пунктах, где напряженность поля недостаточна для устойчивого приема на обычные индивидуальные телевизионные антенны и приемники, применяют маломощные ретрансляторы. В отличие от пассивных ретрансляторов они обладают способностью усиливать сигнал. Прием с помощью маломощных ретрансляторов становится возможным благодаря применению высокоподнятой «профессиональной» антенны и специального приемного устройства. Принцип работы ретранслятора несложен. Сигнал телевизионной станции, принятый в каком-либо канале, усиливается, преобразовывается в другой канал и вновь излучается. Смена каналов сделана для подавления самовозбуждения ретранслятора. Если бы прием и передача производились в одном и том же канале, часть выходной мощности через приемную антенну попадала бы на вход усилителя.

Надо сказать, что даже при смене каналов для высокого качества изображения требуется дополнительная развязка между входом и выходом ретранслятора. Для облегчения развязки канал передачи выбирают таким образом, чтобы он не был смежным по частоте с каналом приема. Сигнал, принятый, например, в 3-м канале, излучается уже в 5-м. Если ретранслятор находится где-то в центре обслуживаемого района, то применяется передающая антенна с круговым излучением.

При установке ретранслятора в стороне от обслуживаемого района используют антенну, направляющую излучаемую мощность в пределах определенного угла. Дальность действия маломощных (1,10 и 100 Вт) ретрансляторов не превосходит 8—10 км. Ретрансляторы устанавливают обычно в небольших городах и поселках, расположенных на расстоянии 80—110 км от мощной станции, иногда и ближе, если в населенном пункте напряженность поля оказывается по тем или иным причинам недостаточной.

Ретрансляторы расширяют зону обслуживания базовой телевизионной станции, но широкое применение их ограничено рядом факторов. Прежде всего при «плотной» установке ретрансляторов возникает вероятность появления взаимных помех. Такие помехи выражаются в том, что в каком-либо месте, чаще всего около границы зоны обслуживания, происходит одновременный прием двух передающих станций. При этом на экране телевизора наблюдается спаривание строк или появляется помеха, напоминающая «муар». Для предупреждения взаимных помех соседним передающим станциям выделяются различные частотные каналы, а иногда и различные поляризации радиоволн. Станции, работающие в совмещенном канале, разносятся друг от друга на расстояние около 300 км; станции, работающие в смежных каналах, — примерно на 100 км. Несмотря на такие меры, в периоды благоприятного прохождения волн в тропосфере и ионосфере все же бывают случаи кратковременного нарушения нормального приема в низкочастотных (1—3-м) каналах. Помеха может быть даже со стороны соседнего канала от станции, расположенной в заднем секторе диаграммы направленности антенны на расстоянии 100 км. В периоды времени дальнего прохождения сигналов работа ретрансляторов, принимающих программу по эфиру в низкочастотных каналах, нарушается по причине приема «чужих» станций. Надежность и качество работы ретрансляторов намного улучшаются, когда получаемая программа приходит к ним не из

эфира, а по кабельной или радиорелейной линии По мнению специалистов, маломощные ретрансляторы разумно устанавливать только в тех неселенных пунктах, где зона действия ретранслятора ограничивается рельефом местности: в долине, овраге и т. п. Ретрансляционные маломощные станции во многих случаях автоматизированы. Если программа приходит с радиорелейной линии, антенна ретранслятора устанавливается на одной мачте с антеннами линии.

Радиолинейные линии связи представляют собой цепочку приемопередающих станций, размещенных на расстоянии 40—70 км друг от друга. Высота подвеса антенн составляет 50—100 м. В этих условиях антенны соседних станций находятся в пределах прямой видимости, что обеспечивает надежную передачу информации на сантиметровых и более коротких волнах. Сигнал, переданный с оконечной станции, принимается первой промежуточной станцией. Здесь он усиливается и посылается на вторую промежуточную станцию, затем на третью и т. д. Максимальная протяженность таких линий может достигать 10—12 тыс. км. Линии обеспечивают передачу телевизионных сигналов, сигналов радиовещания и одновременно несколько тысяч телефонных каналов. Для удобства обмена телевизионными программами оконечные станции радиорелейных линий нередко устанавливают рядом с телевизионной станцией.

ТРОПОСФЕРНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ

Основной причиной дальнего распространения УКВ на расстояниях 150—1000 км является переизлучение радиоволн на неоднородностях тропосферы. Идеализируя в действительности гораздо более сложную структуру, можно представить неоднородность тропосферы как «изолированные» объемы воздуха. В неоднородностях содержится более теплый или более влажный воздух, поэтому по своим преломляющим свойствам они отличаются от окружающего воздуха. Неоднородности образуются как следствие неравномерного нагревания поверхности Земли. Восходящие и нисходящие потоки воздуха под действием ветра разбиваются на вихри (объемы) самых различных размеров.

Средний размер неоднородностей составляет 30—50 м. Под действием сил тяжести неоднородности часто принимают вид слоя. Так, инверсия температуры на некоторой высоте представляет собой слоистую неоднородность. Температурная инверсия образуется после захода Солнца, когда земная поверхность и прилегающий к ней воздух охлаждаются. Температура же вышележащих слоев может оказаться на несколько градусов больше.

Толщина слоистых неоднородностей достигает нескольких сотен метров, а протяженность по горизонтали — нескольких километров. Яркий пример неоднородностей, видимых простым глазом, — обычные облака. Но и невидимые неоднородности в некоторых случаях можно увидеть. Если неоднородности находятся на небольшой высоте и стоит безветренная погода, вертикальная струя дыма от заводских труб, наталкиваясь на слоистую неоднородность, растекается под ней горизонтально. Тонкая структура тропосферы видна по экспериментальной зависимости коэффициента преломления n от высоты h. Зависимость n от h снимают при помощи специальных приборов — радиорефрактометров, установленных на борту аэростата.

Если тропосфера состоит из мелкомасштабных неоднородностей, на зависимости отмечается множество мелких беспорядочных зубчиков. Наличие слоев видно по существенному отклонению *n* от монотонного хода (рис. 51).

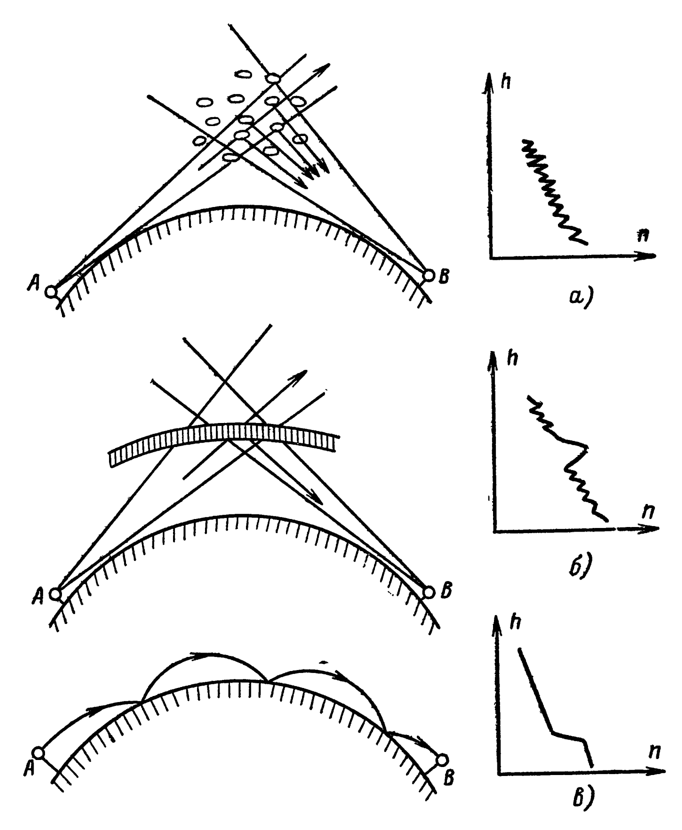


Рис. 51. Механизмы дальнего тропосферного распространения УКВ.

а — рассеяние; *б* — отражение от слоя; *в* — волноводное распространение.

Под действием излучения, создаваемого передающей антенной, каждая неоднородность превращается во вторичный излучатель, вызывая рассеяние или отражение радиоволн. В переизлучении участвуют только те неоднородности, которые попадают в объем, образуемый пересечением диаграмм направленности передающей и приемной антенн. Рассеяние радиоволн создают в основном мелкомасштабные неоднородности, зеркальное отражение — слоистые (рис. 51). Зачастую оба эти механизма действуют одновременно. Независимо от

того, какой действует механизм, в большей части времени в области тени переизлучается очень маленькая доля излученной энергии. Значительная доля энергии проникает через толщу атмосферы, теряясь в пространстве.

При дальнем тропосферном приеме в точке приема всегда с той или иной длительностью наблюдаются замирания сигнала. Мгновенные замирания сигнала (в пределах минуты) обусловлены интерференционным взаимодействием полей, создаваемых отдельными неоднородностями, совершающими движение и изменяющимися по своим размерам. Медленные замирания сигнала (в течение нескольких часов и суток) связаны с образованием и разрушением слоев, изменением условий рефракции.

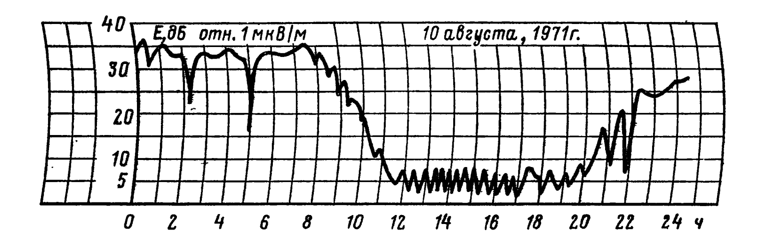


Рис. 52. Образец записи напряженности поля на расстоянии 200 км от передающей телевизионной станции ($\lambda=3$ м; $h_2=10$ м).

Типичный характер записи уровня напряженности поля в летний ясный день показан на рис. 52. Можно видеть, что в ночные и вечерние часы уровень сигнала и длительность замираний больше, чем в дневные. В ночные и вечерние часы сигнал возрастает за счет отражения от слоистых неоднородностей и повышения рефракции. Днем Солнце нагревает земную поверхность, и восходящие потоки воздуха разрушают слоистые образования. В пасмурные дни суточные колебания сигнала стираются; абсолютное значение уровня сигнала падает и держится на низком уровне. Принимаемый сигнал при тропосферном распространении изменяется не только в течение суток, но и в течение года. Наибольшие сигналы зарегистрированы в летние месяцы. Летом средняя напряженность поля выше в 2—3 раза, чем зимой. Наконец, на тропосферное распространение оказывает влияние характер поверхности, над которой происходит распространение. Лучшее прохождение наблюдается над морем.

Дальнее распространение УКВ над морем возникает иногда за счет сверхрефракции. В некоторых случаях перепад показателя преломления воздуха оказывается больше, чем при обычном состоянии ($16 \cdot 10^{-6}/100$ м). Волны при таком сильном перепаде преломляются к поверхности Земли, отражаются от нее, снова преломляются и т. д. (рис. 51, *б*). Этот случай носит название с в е р х р е ф р а к ц и и или распространения в условиях образования «атмосферного волновода». Верхняя граница волновода расположена на высоте точек поворота волн, а нижней границей является земная (морская) поверхность. Волноводные условия распространения возникают главным

образом над теплыми морями. Однако это не исключает возможности волноводного распространения над сушей, но при этом сильно сказывается влияние рельефа местности, нарушающего однородность строения тропосферы в горизонтальном направлении. С этой точки зрения наиболее благоприятной является ровная пустынная местность.

Было установлено, что возникновение волноводного распространения, как и слоев, связано с хорошей, ясной и устойчивой погодой. При холодной, ветренной, дождливой и облачной погоде нижние слои воздуха хорошо перемешаны и условия распространения обычно нормальные. Волноводное распространение чаще всего наблюдают на волнах короче 0,5—1 м. Это явление в технике практически не используют из-за малой вероятности его появления. Но оно является важной причиной появления помех со стороны дальних телевизионных станций.

Кривые распространения МККР показывают, что при дальнем тропосферном распространении УКВ среднегодовая напряженность поля явно недостаточна для телевизионного приема. Напряженность поля в первом диапазоне от мощных телевизионных станций ($P=$ $=300$ кВт) равна 100 мкВ/м на расстоянии 150 км от передатчика и 1 мкВ/м — на расстоянии 500 км. Случаи приема телевидения возможны только при аномальном, необычном распространении сигнала.

Аномальное распространение обусловлено отражением волн от слоев с резким перепадом коэффициента преломления и при атмосферных волноводах. При отражении радиоволн от слоя дальность распространения зависит от его высоты. Чем выше слой, тем на большее расстояние отражаются от него радиоволны. Например, от слоя, расположенного на высоте 1 км, волны отражаются в точку, удаленную от места передачи на 300 км. Мощные слои в тропосфере редко появляются на высотах выше 3—4 км, поэтому тропосферное распространение телевизионных сигналов практически не наблюдается на расстояниях свыше 400—600 км.

Из графиков МККР можно видеть, что влияние высоты передающей антенны на уровень сигнала невелико. То же самое можно сказать о приемной антенне. Для дальнего тропосферного приема важно только наличие открытого переднего плана перед антенной. Антенну желательно устанавливать на возвышенности, с которой далеко виден горизонт.

На холмистой местности на расстоянии 200—300 км от передающей станции прием телевидения можно вести в течение примерно 10% времени (36 дней). Если распространение радиоволн происходит над морем или ровной земной поверхностью, число благоприятных для приема дней может быть намного больше. Во время прохождения сигналов качество изображения получается сравнительно удовлетворительным.

В английской печати приводились интересные данные о распространении ДМВ над Северным морем. Передающие телевизионные станции находились на восточном берегу Англии на расстояниях 200—550 км от места приема. Прием производился на побережье Франции. При мощности излучения передатчиков 1 кВт на трассе 200 км прием был возможен в следующие периоды времени: с июля по октябрь 1959 г., с февраля по октябрь 1960 г. и с февраля по июнь 1961 г. В каждом из этих периодов было 30—40 благоприятных для приема дней. На трассе 550 км прием телевизионных сигналов был отмечен только в течение нескольких летних дней.

Из всего сказанного можно сделать следующие выводы. Сигналы-помехи от телевизионных передатчиков, расположенных на расстоянии 150—600 км от места приема, обусловлены дальним тропосферным распространением радиоволн. Помехи возникают преимущественно в первом диапазоне волн в условиях антициклональной погоды (летом чаще, чем зимой). Иногда уменьшить влияние такой помехи можно с помощью направленной антенны. Влияние высоты подвеса антенны будет слабо влиять на помеху, если антенна при изменении высоты не закрывается препятствием. В идеальном случае антенна в направлении прихода помехи затеняется препятствием, а в направлении приема полезного сигнала работает в направлении прямой видимости. Способов эффективной борьбы с помехами от дальних станций, приходящими со стороны полезного сигнала, не существует.

ИОНОСФЕРНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ

Ионосфера — эта часть атмосферы, состоящая из нескольких слоев ионизированного разреженного газа, расположенных на высотах от 60 км и выше над поверхностью Земли. Слои по мере их возвышения над Землей обозначаются буквами D, E, F_1, F_2. Ионизация, т. е. расщепление молекул газов на положительные ионы и свободные электроны, возникает главным образом под действием ультрафиолетового излучения Солнца. Степень ионизации определяется числом свободных электронов в 1 см^3. Ионизация возрастает с высотой и зависит от времени суток. Днем степень ионизации выше, чем ночью. Ионизация всех слоев в атмосфере увеличивается в периоды повышенной солнечной активности. В наибольшей мере это проявляется на внешнем, наиболее ионизированном слое F_2. Кроме изменения степени ионизации меняются и высоты слоев в разное время суток и года.

Атмосфера при наличии в ней свободных электронов приобретает свойства полупроводника, от которого могут отражаться радиоволны длиннее 10 м. Для волн короче 10 м ионосфера в значительной части времени прозрачна. Такие волны проходят через нее, теряясь в глубинах межпланетного пространства. Вместе с тем еще во второй половине 30-х годов были зарегистрированы случаи отражения от ионосферы волн длиной около 5 м. Как оказалось, отражение возникало главным образом по двум причинам: при появлении спорадического (т. е. возникающего время от времени) слоя E_s; при повышении электронной плотности слоя F_2 в годы максимума солнечной активности.

Слой E_s представляет собой электронное облако, возникающее на высоте слоя E (100—120 км). Вследствие значительной ионизации от него порой отражаются телевизионные сигналы на волнах 1—3-го каналов. Граница зоны приема волн, переизлученных слоем E_s, начинается на расстоянии примерно 1000 км от передатчика и заканчивается приблизительно на 2000 км. Чаще всего прием в летние месяцы наблюдается днем. В вечерние часы он бывает несколько реже и менее регулярно. Прием, обусловленный отражением от слоя E_s, происходит преимущественно с южных направлений, где он более продолжительный.

В летние месяцы электронная плотность слоя E_s может быть настолько высокой, что сигналы дальних станций могут полностью вытеснить сигналы местных станций даже при комнатной антенне. Спорадическое электронное облако имеет небольшие размеры, поэтому обычно принимается только одна станция. Вследствие перемещения облака через некоторое время отмечается прием другой станции (если вращать приемную антенну). Продолжительность приема за счет отражения от слоя E_s бывает различной — от нескольких минут до нескольких часов. Например, в Московской области наблюдался прием из Праги (расстояние 1800 км), на Украине — из Италии, Дании, Швейцарии. В Прибалтике «проскальзывают» передачи из Парижа и Лондона.

Слой F_2 расположен на высоте свыше 200 км над поверхностью Земли, т. е. выше слоя E_s. По этой причине отраженные от него волны принимают на более длинных расстояниях: от 2000 до 4000 км. Прохождение волн, обусловленное слоем F_2, обычно отмечается днем в зимние месяцы в годы максимума солнечной активности. Максимумы солнечной активности возникают приблизительно через 11 лет и совпадают с появлением большого числа пятен на Солнце. Последний максимум был зарегистрирован в 1967—1968 гг.

Кроме отражения от ионизированных слоев волны длиною до 10 м иногда отражаются от метеорных потоков. В атмосферу Земли проникает огромное количество космических частиц — метеоров, которые при сгорании в атмосфере оставляют за собой поток из ионизированных частиц. Если ионизация такого потока достаточна для отражения и он ориентирован в пространстве так, что волны, отражаясь от него, попадают в место приема, то наблюдается «вспышка» сигнала продолжительностью в несколько секунд. Это явление чаще бывает летом, когда Земля проходит через область интенсивных метеорных потоков.

Радиоволны МВ диапазона могут отражаться и от полярных сияний. Из самого названия видно, что «полярные сияния» чаще происходят в высоких широтах. Ученые обнаружили, что зона максимума сияний находится на широте, удаленной на 23° от магнитного полюса. Вспышки на Солнце и другие проявления солнечной активности образуют корпускулярные потоки (солнечный ветер). Эти потоки, приближаясь к Земле, могут проникнуть в верхние слои атмосферы только через полярные области. Силовые линии магнитного поля Земли являются своего рода экраном для корпускулярных потоков, но у полюсов линии сходятся и позволяют потокам прорваться к Земле. Полярные сияния возникают, когда солнечные протоны и электроны сталкиваются с атомами и молекулами верхних слоев земной атмосферы. Если в северном полушарии в районе, где наблюдаются полярные сияния, передающую и приемную антенну направлять на север, то при появлении полярных сияний возможны радиосвязь и прием телевидения.

ПРИЕМ ТЕЛЕВИДЕНИЯ ЧЕРЕЗ ИСКУССТВЕННЫЕ СПУТНИКИ ЗЕМЛИ

Говоря о дальнем телевидении, нельзя не обратить внимания на достижения науки и техники в создании спутниковых телевизионных систем. Использование искусственных спутников Земли (ИСЗ) для телевидения и связи ученые предвидели еще задолго до того, как

человек сделал первые шаги в околоземное пространство. В Советском Союзе эту идею высказывал проф. П. В. Шмаков, в Англии — А. Ч. Кларк, который писал, что спутники будут составлять основу «нервной системы человечества». Это предсказание сбылось на наших глазах. 23 июля 1962 г. состоялся первый сеанс телевизионной связи между Европой и Америкой через ИСЗ «Телестар-1».

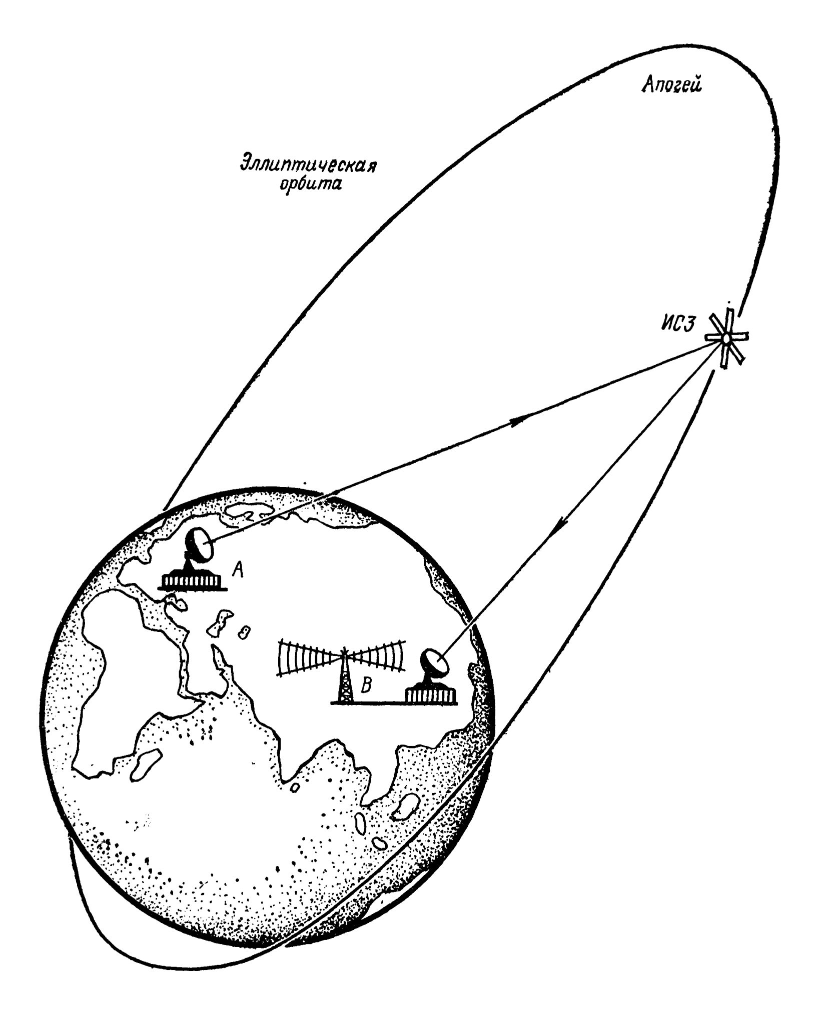


Рис. 53. Система телевизионного вещания «Орбита» с искусственным спутником Земли «Молния».

А — передающий пункт; *В* — приемный пункт с подачей сигнала на передающую телевизионную станцию.

2 ноября 1967 г. в Советском Союзе начала действовать система «Орбита», которая позволяет передавать программы Центрального телевидения в Магадан, Якутск, Южно-Сахалинск и другие весьма отдаленные от Москвы города. Всего система «Орбита» насчитывает около 100 приемных станций и обслуживает территорию с населением в несколько десятков миллионов человек. 26 октября 1976 г. в Советском Союзе запущен новый спутник телевизионного вещания «Экран» с бортовой ретрансляционной аппаратурой, обеспечивающей передачу одной цветной программы Центрального телевидения на сеть приемных устройств, расположенных в населенных пунктах Сибири и Крайнего Севера.

Спутниковые системы связи принципиально различаются прежде всего видом используемого спутника. В настоящее время находят применение два вида спутников связи: ИСЗ, обращающиеся по вытянутой эллиптической орбите со временем обращения около 12 ч, и стационарные ИСЗ с периодом обращения 24 ч. Стационарный спутник выводят на круговую экваториальную орбиту. Наблюдателю он кажется неподвижно висящим над Землей.

Принцип работы системы «Орбита» пояснен на рис. 53, где изображена орбита спутника «Молния». В апогее (точке максимальной высоты спутника над Землей) спутник находится на расстоянии 40 000 км, в перигее (точке минимальной высоты спутника над Землей) удален на 500 км. В силу законов механики в апогее скорость ИСЗ понижается, а в перигее сильно повышается. Благодаря этому обстоятельству передача телевидения через спутник может продолжаться в течение 9 ч. Недостатком этого спутника связи является необходимость направлять на движущийся спутник громоздкие антенны наземных конечных станций.

На рис. 53 показана только одна приемная станция. В действительности их много. Программа Центрального телевидения вместе со звуковым сопровождением (из Общесоюзного телевизионного центра) по радиорелейной линии подается на передающую земную станцию, расположенную в Подмосковье. Станция оборудована большой параболической антенной и передатчиком мощностью 10 кВт.

Сигналы этой станции излучаются в сторону спутника «Молния», который принимает их, усиливает и ретранслирует на сеть приемных земных станций Сигналы, принятые земными станциями, подаются по соединительным линиям на местные телецентры и далее излучаются в эфир на частотах своих каналов.

Типовая приемная станция «Орбита» расположена в круглом железобетонном здании, одновременно служащем основанием для антенны. Антенна представляет собой параболическое зеркало диаметром 12 м. Предусмотрено специальное устройство, обеспечивающее слежение антенны за спутником. Приемное устройство «Орбита» имеет особенности, которые отличают его от обычных приемников. В частности, на входе устройства стоит параметрический усилитель, существенно снижающий собственные шумы приемника.

Передача сигналов на спутник и от спутника ведется на сантиметровых волнах ($\lambda \approx 5 \div 7{,}5$ см).

Система «Экран» использует стационарный спутник, выведенный на круговую орбиту высотой 35600 км. Координаты подспутниковой точки 0° широты и 99° восточной долготы. Неизменное положение спутника по отношению к Земле позволяет легко использовать остронаправленные антенны в земных станциях и на спут-

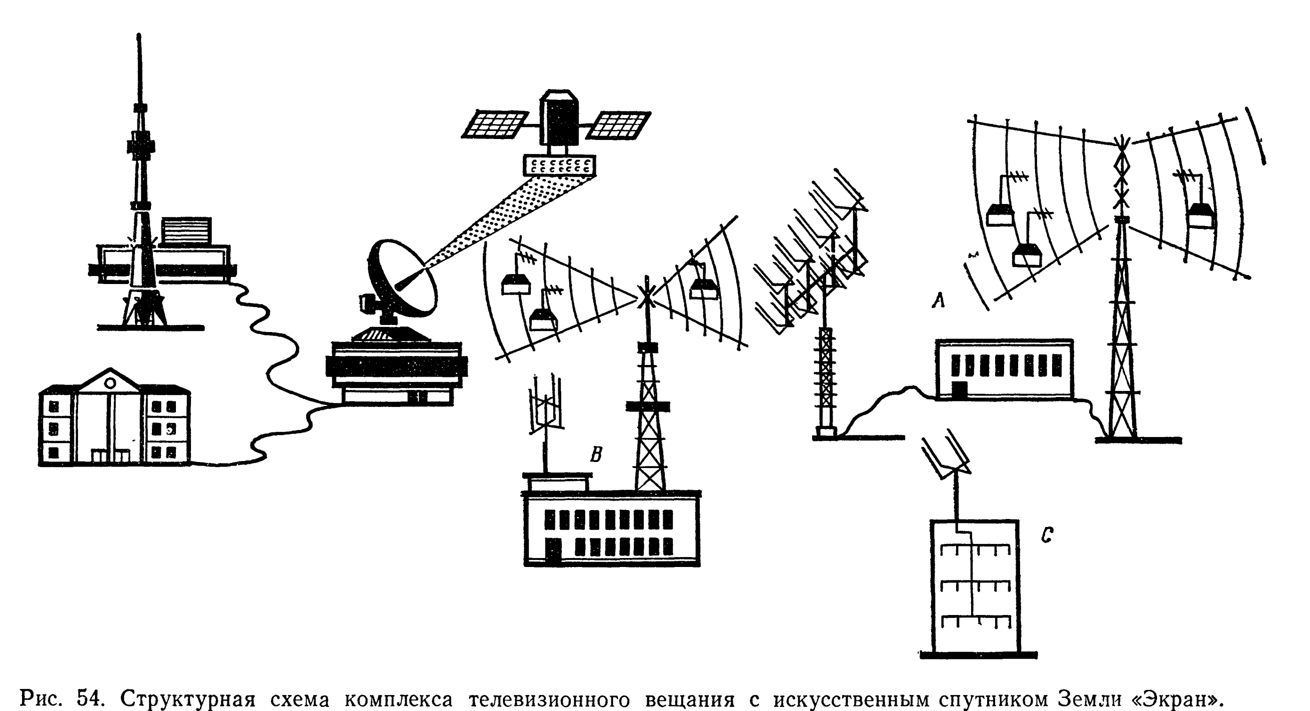


Рис. 54. Структурная схема комплекса телевизионного вещания с искусственным спутником Земли «Экран».

A — прием с подачей сигнала на местный телецентр; *B* — прием с подачей сигнала на маломощный ретранслятор; *C* — прием с распределением по домовой сети.

нике. Приемные устройства получаются более простыми и дешевыми по сравнению с системой «Орбита».

Схема системы «Экран» выглядит следующим образом (рис. 54). Земная передающая станция получает программу от телевизионного центра и центра радиовещания. Станция излучает сигнал, направленный на спутник. Спутник принимает его и ретранслирует на приемные станции. На спутнике сигнал не только усиливается, но и переносится из СМВ диапазона в ДМВ диапазон. Для излучения в сторону Земли передачу ведут на частотах 702—726 МГц с частотной модуляцией (ЧМ). Зона обслуживания системы «Экран» — территория Сибири. Номинальная напряженность поля, создаваемая ИСЗ «Экран» на краю зоны, — 29 мкВ/м.

Антенна приемника «Экран» состоит из полотен типа «волновой канал». Каждое полотно имеет 30 скрещенных директоров, спиральный возбудитель и рефлектор. Применение скрещенных вибраторов обусловлено вращающейся поляризацией сигнала (вращается вектор электрического поля). В зависимости от числа используемых полотен коэффициент усиления приемной антенны лежит в пределах 20—28 дБ.

Приемник содержит чувствительный усилитель высокой частоты на транзисторах, смеситель с гетеродином, усилитель промежуточной частоты и высококачественный демодулятор ЧМ сигналов. Серийно выпускают приемные устройства двух классов. Приемное устройство I класса — высококачественный ЧМ приемник, предназначенный для подачи программы на телевизионные передатчики большой и средней мощности. Приемное устройство II класса — упрощенный приемник, предназначенный для преобразования ЧМ сигнала в стандартный телевизионный сигнал изображения с амплитудной модуляцией с целью дальнейшего его распределения между абонентами по кабельной сети либо через маломощный ретранслятор.

Ввод в действие системы «Экран» — первый шаг к обеспечению всей территории нашей страны центральным телевизионным вещанием. Без спутниковых систем решение этой задачи не представляется возможным. Дальнейшее использование только наземных средств (передающих телевизионных станций, ретрансляторов, радиорелейных линий для подачи к ним программ) становится все более трудным и неэффективным, так как эти средства приходится располагать в районах с малой плотностью населения, а удаленность этих районов резко повышает стоимость строительства.

Разумеется, техника космического телевидения будет развиваться и дальше. Передачи со спутников можно будет принимать непосредственно на домашние телевизоры. Для этого понадобиться спутник с мощностью передатчика около 1 кВт, что вполне достижимо уже сейчас, но стоит он пока очень дорого.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аренберг А. Г.** Распространение дециметровых и сантиметровых волн. М.: Советское радио, 1957.

2. **Грудинская Г. П.** Распространение ультракоротких радиоволн. М.—Л.: Госэнергоиздат, 1960.

3. **Долуханов М. П.** Дальнее распространение ультракоротких волн. М.: Связьиздат, 1962.

4. Final acts of the European VHF/UHF Broadcasting Conference, Stockholm, 1961.

5. **Кривошеев М. И.** Технические средства телевизионного вещания. — В кн.: Научно-технический сборник «80 лет радио». М.: Связь, 1975, с. 38—60.

6. **Кузнецов В. Д.** Антенны радиовещания, связи и телевидения. — В кн.: Научно-технический сборник «80 лет радио». М.: Связь, 1975, с. 130—150.

7. **Кузнецов В. Д.** Отраженные телевизионные сигналы в городских условиях. — Электросвязь, 1975, № 4, с. 1—7.

8. **Кузнецов В. Д., Парамонов В. К., Кукаев А. А.** Индивидуальные телевизионные антенны. — Радио, 1969, № 5, с. 45—48.

9. **Кузнецов В. Д., Парамонов В. К., Кукаев А. А.** Телевизионные антенны для сложных условий приема. — Радио, 1969, № 12, с. 35—38.

10. **Сотников С. К.** Сверхдальний прием телевидения. М.: Энергия, 1967.

11. **Фибранц А.** Антенные устройства для приема телевидения и радиовещания. Пер. с нем. М.: Связь, 1964.

12. **Шамшин В. А.** С «Экрана» на телеэкран. — Радио, 1977, № 5, с. 1—3.

ОГЛАВЛЕНИЕ

АНАТОЛИЙ АБЕЛЕВИЧ ШУР

Ближний и дальний прием телевидения

Редактор *А. А. Кукаев*

Редактор издательства *Н. В. Ефимова*

Обложка художника *В. Н. Хомякова*

Технический редактор *Н. М. Пушкарева*

Корректор *З. Б. Драновская*

ИБ № 2131

Сдано в набор 13.04.79. Подписано в печать 28.09.79. Т-17325. Формат 84×108¹/₃₂ Бумага типографская № 2 Гарн. шрифта литературная. Печать высокая Усл. печ. л. 4,2. Уч.-изд. л. 5,36 Тираж 80 000 экз. Заказ № 965. Цена 40 к.

Издательство «Энергия», 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли

600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

40 к.

